



TUGAS AKHIR - TF 145565

PENGENDALIAN TEKANAN UAP BOILER PADA *MINI PLANT STEAM ENGINE* UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP

MOCH. NURKHO'IM
NRP. 10511500000084

Dosen Pembimbing I
Dr. Imam Abadi, ST., MT.
NIP. 19761006 199903 1 002

Dosen Pembimbing II
Sefi Novendra Patrialova, S.Si., MT.
NPP. 1991201712053

PROGRAM STUDI DIII TEKNOLOGI INSTRUMENTASI
DEPARTEMEN TEKNIK INSTRUMENTASI
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



TUGAS AKHIR TF 145565

PENGENDALIAN TEKANAN UAP BOILER PADA *MINI/PLANT STEAM ENGINE* UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP

MOCH. NURKHO'IM
NRP. 10511500000084

Dosen Pembimbing I
Dr. Imam Abadi, ST., MT.
NIP. 19761006 199903 1 002
Dosen Pembimbing II
Sefi Novendra Patrialova, S.Si., MT.
NPP. 1991201712053

PROGRAM STUDI DIII TEKNOLOGI INSTRUMENTASI
DEPARTEMEN TEKNIK INSTRUMENTASI
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



FINAL PROJECT TF 145565

***CONTROL OF STEAM PRESSURE BOILER ON MINI
PLANT STEAM ENGINE FOR STEAM POWER
PLANT***

**MOCH. NURKHO'IM
NRP. 10511500000084**

Advisor Lecturer I

**Dr. Imam Abadi, ST., MT.
NIP. 19761006 199903 1 002**

Advisor Lecturer II

**Sefi Novendra Patrialova, S.Si., MT.
NPP. 1991201712053**

***DIPLOMA III OF INSTRUMENTATION TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF TEKNIK INSTRUMENTASI***

Faculty of Vokasi

***Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018***

**PENGENDALIAN TEKANAN UAP BOILER PADA MINI
PLANT STEAM ENGINE UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK
TENAGA UAP**

Oleh :

MOCIL. NURKHO'IM
NRP. 10511500000084

Surabaya, Juli 2018
Mengetahui / Menyetujui

Dosen Pembimbing 1



Dr. Imam Abadi, ST., MT.
NIP. 19761006 199903 1 002

Dosen Pembimbing 2



Sefi Novendra Patrialova, S.Si., MT.
NPP. 1991201712053



**Kepala Departemen teknik
Instrumentasi**





Dr. Ir. Purwadi Agus D, M.Sc
NIP. 19620822 198803 1 001

**PENGENDALIAN TEKANAN UAP BOILER PADA MINI
PLANT STEAM ENGINE UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK
TENAGA UAP
TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Ahli Madya
pada
Program Studi DIII Teknologi Instrumentasi
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
Moch. Nurkho'im
NRP. 10511500000084

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

- | | |
|--|--|
| 1. Dr. Imam Abadi, ST., MT | |
| 2. Sefi Novendra Patrialova, S.Si., MT |  Pembimbing 1 |
| 3. Dr.Ir. Purwadi Agus D, M.Sc |  Pembimbing 2 |
| 4. Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA |  Penguji 1 |
| |  Penguji 2 |

SURABAYA
Juli, 2018

PENGENDALIAN TEKANAN UAP BOILER PADA *MINI PLANT STEAM ENGINE* UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP

Nama Mahasiswa : Moch. Nurkho'im
NRP : 10511500000084
Departemen : Teknik Instrumentasi
Dosen Pembimbing : Dr. Imam Abadi, ST., MT.
Sefi Novendra Patrialova, S.Si., MT.

Abstrak

Mini plant steam engine merupakan alat yang dapat menghasilkan uap melalui proses pembakaran di dalam *boiler*, uap tersebut nantinya akan digunakan untuk menggerakkan *steam generator*. Untuk membuat *steam generator* berputar tekanan uap yang dihasilkan harus di kontrol. Maka perlu suatu sistem pengendalian terhadap variabel tersebut. Dilakukan pembuatan tugas akhir ini mengenai pengendalian tekanan uap boiler pada *mini plant steam engine* untuk pembangkit listrik tenaga uap. Metode yang digunakan adalah dengan metode pengendalian fuzzy. Instrumen yang digunakan yaitu mikrokontroler atmega 32, *final control element* berupa *motor operating valve* dan *pressure trasmitter 500psi*. Dari hasil pengambilan data tugas akhir ini, dilakukan uji sensor pada *pressure transmitter* dan pembacaan *Pressure Transmitter* pada sistem. *Set point pressure* yang diinginkan yaitu 200 Kpa untuk batas maksimal operational *plant*. Dari uji *plant* yang telah dilakukan dengan *set point* 100 Kpa di dapatkan nilai *rise time* 700 detik, *peak time* 740 detik, dan *settling time* 720 detik.

Kata Kunci : Pengendalian Fuzzy , *Pressure transmitter* , *Steam engine*

CONTROL OF STEAM PRESSURE BOILER ON MINI PLANT STEAM ENGINE FOR STEAM POWER PLANT

Name of Student : Moch. Nurkho'im
NRP : 10511500000084
Departement : Teknik Instrumentasi
Advisor Lecturer : Dr. Imam Abadi, ST., MT.
Sefi Novendra Patrialova, S.Si., MT.

Abstract

Mini plant steam engine is a tool that can generate steam through the combustion process in the boiler, the steam will be used to drive the steam generator. To make the steam generator rotate the steam pressure generated must be controlled. Then it needs a control system for these variables. This final project is carried out regarding steam boiler pressure control at the mini plant steam engine for steam power plants. The method used is with the method of fuzzy control. Instruments used are atmega 32 as microcontroller, final control element in the form of motor operating valve and pressure trasmitter 500psi. From the results of data collection of this final project, the sensor is tested on the pressure transmitter and the reading of the Pressure Transmitter on the system. The desired set point pressure is 200 Kpa for the maximum operational plant. From the test plant that has been done with a set point 100 Kpa in 700 seconds rise time value, peak time 740 seconds, and settling time 720 seconds.

Keywords : Fuzzy Control , Pressure transmitter , Steam engine

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul **“PENGENDALIAN TEKANAN UAP BOILER PADA *MINI PLANT STEAM ENGINE* UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP”** dengan tepat waktu. terselesainya laporan ini juga tak luput dari dukungan dan peran dari orangtua dan keluarga besar serta berbagai pihak. Untuk itulah dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Purwadi Agus Darwito, M.Sc selaku Kepala departemen Teknik Instrumentasi.
2. Bapak Dr. Imam Abadi, ST., MT.. dan Ibu Sefi Novendra Patrialova, S.Si., MT. selaku pembimbing Tugas Akhir yang telah membina dengan baik dan sabar.
3. Bapak Dr. Ir. Purwadi Agus Darwito, M.Sc selaku Dosen Wali penulis.
4. Bapak Tasmuri dan Ibu Sutarmi tercinta orang tua terbaik yang paling saya sayangi berkat doanya yang membuat saya bisa menyelesaikan tugas akhir ini.
5. Kakak saya Etty Yhuliarsih yang selalu memberikan dukungan dan semangat.
6. Anggota Kontrakan Keren yang selalu memberikan dorongan motivasi..
7. *Power plant team*, (Bahtiar dresta H, Ronggo bayu, Kartika, Novi laraswati, dan Naqiya) yang telah bersama-sama berjuang dalam pengerjaan Tugas Akhir ini hingga selesai.
8. Teman - teman F50 ,dan Laris yang selalu memotivasi penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
9. Bpk Bandi yang selalu memberikan masukan dan tempat bengkel
10. Serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih kurang sempurna. Oleh karena itu penulis menerima segala masukan baik berupa saran, kritik, dan segala bentuk tegur sapa demi kesempurnaan laporan ini.

Demikian laporan Tugas Akhir ini penulis persembahkan dengan harapan dapat bermanfaat dalam akademik baik bagi penulis sendiri maupun bagi pembaca.

Surabaya, 18 Juli 2018

Penulis.

DAFTAR ISI

	Hal
HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN I.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN II.....	iv
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR NOTASI.....	xvi

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat.....	3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Boiler	5
2.2 Sistem Pengendalian	6
2.3 Steam Drum	8
2.4 Motor Operated Valve	9
2.5 Steam Engine	10
2.6 Logika Fuzzy	11
2.6.1 Konsep Himpunan Fuzzy	12
2.7 Respon Sistem	12
2.7.1 Klasifikasi Respon Sistem.....	12
2.7.2 Spesifikasi Respon Sistem.....	14

BAB III PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

3.1 Alat dan bahan	15
3.2 Prosedur perancangan alat	15

3.2.1 Perancangan sistem	16
3.2.2 Penentuan dimensi.....	19
3.2.3 Pemilihan komponen	21
3.2.4 Pembuatan hardware	23
3.2.5 Pembuatan sofeware	24

BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISIS DATA

4.1 Rancang Bangun Alat.....	27
4.2 Pengujian sistem pengendalian pressure 75 Kpa	28
4.3 Pengujian sistem pengendalian pressure 100 Kpa	30
4.4 Pengujian sistem pengendalian pressure 150 Kpa.....	33
4.4 Pengujian sistem pengendalian pressure 200 Kpa.....	36
4.5 Pembahasan	38

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan.....	41
5.2 Saran	41

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Ketel pipa air	6
Gambar 2.2	Steam Drum	8
Gambar 2.3	Bentuk Fisik Motor Valve	9
Gambar 2.4	Steam Engine	10
Gambar 2.5	Perbandingan contoh logika fuzzy	11
Gambar 3.1	Flowchart Pengerjaan Tugas Akhir	16
Gambar 3.2	BFD Pengendalian Tekanan Uap	16
Gambar 3.3	PFD Pengendalian Tekanan Uap	16
Gambar 3.4	Diagram Blok Pengendalian Tekanan Uap	17
Gambar 3.5	P&ID Pengendalian Tekanan Uap	18
Gambar 3.6	Steam Drum	19
Gambar 3.7	Furnace	19
Gambar 3.8	Pipa Sambungan Plant	20
Gambar 3.9	Badan Boiler	20
Gambar 3.10	Sensor Pressure 500 Psi	21
Gambar 3.11	Bentuk fisik dari motor valve	21
Gambar 3.12	Mikrokontroler atmega 32	20
Gambar 3.13	Diagram alir pembuatan hardware	24
Gambar 3.14	Simulasi software MOV putar kiri	25
Gambar 3.15	Simulasi software MOV putar kanan	26
Gambar 4.1	Plant Boiler	27
Gambar 4.2	Pressure Gauge 6 bar	28
Gambar 4.3	Grafik respon sistem set point 75 Kpa	29
Gambar 4.4	Grafik respon sistem set point 100 Kpa	30
Gambar 4.5	Grafik respon actuator	33
Gambar 4.6	Grafik respon sistem set point 150 Kpa	35
Gambar 4.7	Grafik respon sistem set point 200 Kpa	37

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Hasil data pengujian 75 Kpa	28
Tabel 4.2	Hasil data pengujian 100 Kpa	31
Tabel 4.3	Hasil data pengujian 150 Kpa	34
Tabel 4.4	Hasil data pengujian 200 Kpa.....	36

DAFTAR NOTASI

(t)	: Time Constan
(T_R)	: <i>Rise Time</i>
(T_s / t_c)	: <i>Settling Time</i>
(T_D)	: <i>Delay Time</i>
(M_p)	: <i>Overshoot</i> maksimum
$C(\infty)$: Nilai <i>setpoint</i>
$C(t_p)$: Nilai <i>peak time</i> (Nilai Tertinggi)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di Teknik Instrumentasi ITS merupakan sebuah departemen baru yang harus memiliki semua aspek untuk mendukung kegiatan akademik termasuk lab praktikum, dimana harus memiliki alat lab untuk menunjang kegiatan praktikum. Salah satunya termasuk praktikum termodinamika terapan. Tujuan dikembangkannya penelitian ini untuk mengaplikasikan pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) dalam versi mini plant untuk alat praktikum. Prinsipnya menggunakan tenaga uap (*steam*) sebagai tenaga penggeraknya dengan cara memanfaatkan air yang mengalir didalam sebuah pipa, kemudian dipanaskan dengan temperatur 150 – 200° C. Uap yang keluar dari *steam* drum akan memutar *steam engine* sehingga menghasilkan energi mekanik. Energi ini selanjutnya menggerakkan generator dan menghasilkan listrik. Pada sistem terjadi proses perubahan wujud atau pertukaran energi. Seperti perubahan dari energi gerak ke energi listrik, yang mampu menyalakan suatu lampu sebagai indikator [1].

Pada penelitian tentang tugas akhir sebelumnya yang membuat *plant* boiler, memiliki kelemahan yaitu tidak adanya suatu *steam engine* untuk menggerakkan generator, selain itu juga uap yang dihasilkan tidak sampai *superheated*. Karena pada penelitian sebelumnya yang dihasilkan harus bertekanan tinggi (*superheated*). Dalam proses mengubah air menjadi uap sering terjadi kendala, sehingga keluaran tidak sesuai dengan yang dikehendaki, Pada *boiler* ini menggunakan bahan bakar gas LPG. Untuk melakukan penghematan penggunaan kompor LPG dapat dilakukan dengan cara meningkatkan efisiensi proses pembakaran yang terjadi, dan peningkatan efisiensi proses pembakaran ini tidak terlepas dari bentuk ruang bakar (*burner*) yang bisa mensirkulasikan kalor sehingga dapat meminimalisir kalor yang terbuang. Apabila efisiensi pembakaran baik maka *steam* yang dihasilkan akan sesuai dengan *pressure* yang diinginkan. Oleh karena itu, diambil judul pada tugas akhir ini mengenai pembuatan

rancang bangun terhadap tekanan pada *steam output* boiler yang berbahan bakar LPG agar sesuai dengan yang dikehendaki pada *plant* ini. Kontrol *pressure* ini digunakan untuk mengontrol tekanan uap yang keluar dari *steam drum* sebelum masuk ke *steam engine* dan generator, agar tekanan yang diinginkan sesuai dengan *set point*. Sehingga judul tugas akhir ini merupakan salah satu dari bagian *plant* tersebut [1].

1.2 Rumusan Permasalahan

Berdasarkan latar belakang yang dijelaskan diatas, maka rumusan masalah dalam Tugas Akhir ini adalah :

1. Bagaimana merancang sistem pengendalian tekanan uap boiler pada *mini plant steam engine* untuk pembangkit listrik tenaga uap
2. Bagaimana merancang dan mengimplementasikan kontrol fuzzy pada sistem pengendalian tekanan uap pada *mini plant steam engine* untuk pembangkit listrik tenaga uap

1.3 Tujuan

Tujuan utama dari penelitian alat ini adalah untuk membuat suatu tekanan uap yang mampu menggerakkan generator untuk menyalakan sebuah bola lampu, serta untuk memberikan solusi pada rumusan masalah yaitu :

1. Untuk merancang pengendalian tekanan uap *boiler* pada *mini plant steam engine* untuk pembangkit listrik tenaga uap
2. Untuk merancang dan mengimplementasikan kontrol fuzzy sederhana pada sistem pengendalian tekanan uap boiler pada *mini plant steam engine* untuk pembangkit listrik tenaga uap

1.4 Batasan Masalah

Perlu diberikan beberapa batasan permasalahan agar pembahasan tidak menyimpang dari tujuan. Adapun batasan permasalahannya yaitu adalah:

1. Pengendalian yang dilakukan hanya variabel fisis tekanan uap di *boiler*.
2. Metode kontrol yang digunakan adalah kontrol fuzzy sederhana

1.5 Manfaat

Adapun manfaat yang dapat diperoleh dari tugas akhir ini yaitu:

1. Tugas akhir ini dapat dijadikan untuk bekal bagi peserta untuk kedepannya dalam menghadapi dunia industri
2. Tugas akhir ini dapat dijadikan sebagai ajang menambah pengetahuan di Departemen Teknik Instrumentasi

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

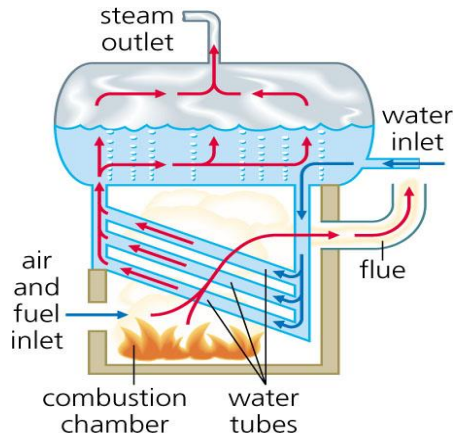
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Boiler

Boiler/ketel uap merupakan bejana tertutup dimana panas pembakaran dialirkan ke air sampai terbentuk air panas atau *steam* berupa energi kerja. Air adalah media yang berguna dan murah untuk mengalirkan panas ke suatu proses. Air panas atau *steam* pada tekanan dan suhu tertentu mempunyai nilai energi yang kemudian digunakan untuk mengalirkan panas dalam bentuk energi kalor ke suatu proses. Sistem *boiler* merupakan peralatan yang harus dikelola dan dijaga dengan sangat baik [4].

Boiler terdiri dari 2 komponen utama, yaitu *furnace* (ruang bakar) sebagai alat untuk mengubah energi kimia menjadi energi panas. Dan *steam drum* yang mengubah energi pembakaran (energi panas) menjadi energi potensial steam (energi panas). [5]

Pada Ketel pipa air seperti tampak pada Gambar 8.1, air umpan *boiler* mengalir melalui pipa-pipa masuk kedalam drum. Air yang tersirkulasi dipanaskan oleh gas pembakaran membentuk *steam* pada daerah uap dalam drum. Ketel ini dipilih jika kebutuhan *steam* dan tekanan *steam* sangat tinggi seperti pada kasus ketel untuk pembangkit tenaga listrik. Untuk ketel pipa air yang menggunakan bahan bakar padat, tidak umum dirancang secara paket. Karakteristik ketel pipa air sebagai berikut : *Force, induce dan balance draft* membantu untuk meningkatkan efisiensi, kurang toleran terhadap kualitas air yang dihasilkan dari pengolahan air, memungkinkan untuk tingkat efisiensi panas yang lebih tinggi [6].



Gambar 2.1 Ketel Pipa Air [4].

2.2 Sistem Pengendalian

Pengertian kontrol atau pengaturan adalah proses atau upaya untuk mencapai tujuan. Hampir semua proses di industri membutuhkan peralatan otomatis untuk mengendalikan parameter – parameter prosesnya. Otomatisasi tidak hanya diperlukan demi kelancaran operasi, keamanan, ekonomi maupun mutu produk, tetapi lebih merupakan kebutuhan pokok. Suatu proses industri tidak akan dapat dijalankan tanpa bantuan sistem pengendalian. Parameter – parameter yang umum dikendalikan dalam suatu proses adalah tekanan (*pressure*), laju aliran (*flow*), suhu (*temperature*) dan permukaan zat cair (*level*). Gabungan serta alat pengendalian otomatis itu yang disebut sistem pengendalian proses (*process control system*). Sedangkan semua peralatan yang membentuk sistem pengendalian tersebut disebut instrumentasi pengendalian proses (*process control instrumentation*).

Istilah- istilah yang perlu diketahui dalam sistem otomatis adalah sebagai berikut:

- **Proses** : tatanan peralatan yang mempunyai suatu fungsi tertentu, contohnya *level* tangki.
- **Controlled Variable** : besaran atau variabel yang dikendalikan. Besaran ini pada diagram kotak disebut juga dengan *output* proses atau *level* tangki..
- **Manipulated Variable** : input dari suatu proses yang dapat di manipulasi agar *controlled variable* sesuai dengan *set point*-nya.
- **Disturbance** : besaran lain (selain *manipulated variable*) yang dapat menyebabkan berubahnya *level* tangki diatas dari tangki yang dikendalikan
- **Sensing Element** : bagian paling ujung suatu sistem pengukuran, seperti *sensor suhu* atau *sensor level*
- **Transmitter** : untuk membaca sinyal sensing element dan mengubah sinyal yang dapat dipahami oleh kontroller seperti *signal conditioning* (SC).
- **Tranducer** : unit pengalih sinyal
- **Measurement Variable** : sinyal yang keluar dari transmitter. Jika dalam pengendalian *level*, sinyal yang keluar adalah berupa *level*.
- **Set Point** : besar *process variable* yang dikehendaki.
- **Controller** : elemen yang melakukan tahapan mengukur - membandingkan – menghitung - mengkoreksi.
- **Final Control Element** : bagian akhir dari instrumentasi sistem pengendalian yang berfungsi untuk mengubah *measurement variable* dengan cara *manipulated variable*, berdasarkan perintah pengendali. Salah satu *final control element* yang digunakan dalam pengendalian *level* adalah *motorized valve*.

2.3 *Steam drum*

Merupakan suatu bagian yang digunakan untuk menampung air yang sebelumnya setelah dipanaskan. Prinsip dari sistem pada *steam drum* ini yaitu dengan sirkulasi akibat adanya perbedaan massa jenis. Apabila air yang memiliki temperatur tinggi setelah dipanasi, maka akan menjadi uap air yang akan bergerak ke atas untuk memasuki *superheater*. Uap bergerak ke atas dikarenakan memiliki massa jenis lebih rendah daripada air. Sedangkan air yang tidak menjadi uap akan kembali dipanaskan melalui sirkulasi dan akan terjadi terus menerus hingga menjadi uap [1].



Gambar 2.2 *Steam drum*

Selain itu steam drum juga merupakan salah satu komponen yang penting pada proses pembangkit listrik yang berfungsi untuk memisahkan uap antara fase gas dan fase cair kemudian melewati uap fase gas yang bertekanan. Uap gas ini kemudian dipanaskan lagi hingga menjadi uap kering. Di dalam *steam drum* itu sendiri terdapat *low pressure* (LP) dan *high pressure* (HP). Bila *steam drum* mengalami kondisi *low water* atau *high water* maka sistem akan mengalami kondisi trip, yaitu kondisi dimana sistem

berhenti beroperasi hingga perlu dilakukan waktu untuk *restart* awal untuk memulai proses [5].

2.4 Motor Operated Valve

Motor operated valve adalah salah satu jenis motor dc yang dikendalikan dengan pulsa-pulsa digital. Prinsip kerjanya adalah bekerja dengan mengubah pulsa elektronis menjadi gerakan mekanis diskrit dimana motor *stepper* bergerak berdasarkan urutan pulsa yang diberikan kepada motor stepper tersebut. Motor *stepper* dapat dibagi menjadi 2 yaitu motor *stepper unipolar* dan motor *stepper bipolar*. Untuk motor *stepper* dengan lilitan *bipolar*, diperlukan sinyal pulsa yang berubah-ubah dari positif ke negatif dan sebaliknya. Jadi pada setiap terminal lilitan (A & B) harus dihubungkan dengan sinyal yang mengayun dari positif ke negatif dan sebaliknya. Karena itu dibutuhkan rangkaian pengendali yang agak lebih kompleks daripada rangkaian pengendali.



Gambar 2.3 Bentuk fisik motor *valve*

MOV adalah motor yang menggerak *valve* untuk membuka dan menutup, dimana ada 3 komponen di dalamnya yaitu *Power supply* untuk menggerakkan motor, *Trigger* (0-6 VDC) sebagai

sinyal untuk memerintahkan *valve* untuk membuka dan menutup dan Limit switch untuk menghentikan motor pada saat membuka menutup *valve*

Motor operated valve itu sebatas aktuator saja, sama halnya seperti aktuator yang lain, hanya saja MOV itu sumber tenaganya dari listrik, bisa 110, 220, 380, 460 VAC maupun VDC. Bisa 1 *phase* dan 3 *phase* tergantung pabrikasi MOV tersebut.

2.5 *Steam engine*

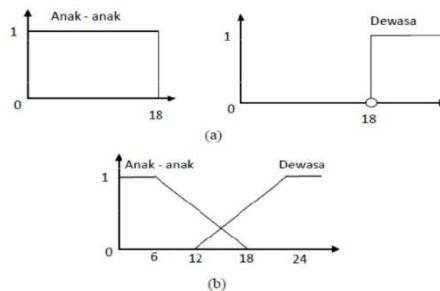
Merupakan suatu alat yang mampu mengubah dari energi panas ke energi mekanik, energi panas tersebut berubah dengan pembakaran gas di dalam dapur pembakar yang diatur sedemikian rupa sehingga panas akan dialihkan ke air [2]. Mesin uap adalah mesin panas yang melakukan kerja mekanis dengan menggunakan uap sebagai fluida kerja. Mesin uap adalah mesin pembakaran eksternal, dimana fluida kerja terpisah dari produk pembakaran. Sumber panas *non combustion* seperti tenaga surya, tenaga nuklir atau energi panas bumi dapat digunakan. Yang ideal Siklus termodinamika yang digunakan untuk menganalisa proses ini disebut siklus rankine. Dalam siklus tersebut, air dipanaskan dan berubah menjadi uap dalam *boiler* yang beroperasi pada tekanan tinggi. Bila diperluas melalui piston atau turbin, Pekerjaan mekanis sudah selesai. Uap bertekanan rendah kemudian dilepas ke atmosfer, atau dikondensasi dan dipompa kembali ke *boiler* [7].



Gambar 2.4 *Steam engine*

2.6 Logika fuzzy

Konsep logika *fuzzy* pertama kali diperkenalkan oleh Professor Lotfi A.Zadeh dari Universitas California, pada bulan Juni 1965. *Fuzzy* secara bahasa diartikan sebagai kabur atau samar – samar. Menurut Setiadji (2009 : 174), *fuzzy* merupakan suatu nilai yang dapat bernilai benar atau salah secara bersamaan. Namun seberapa besar nilai kebenaran dan kesalahannya tergantung pada derajat keanggotaan yang dimilikinya. Derajat keanggotaan dalam *fuzzy* memiliki rentang nilai 0 (nol) hingga 1(satu). Hal ini berbeda dengan himpunan tegas yang memiliki nilai 1 atau 0 (ya atau tidak). Logika *fuzzy* digunakan untuk menterjemahkan suatu besaran yang diekspresikan menggunakan bahasa (*linguistik*), misalkan besaran kecepatan laju kendaraan yang diekspresikan dengan pelan, agak cepat, cepat, dan sangat cepat. Dan logika *fuzzy* menunjukkan sejauh mana suatu nilai itu benar dan sejauh mana suatu nilai itu



Gambar 2.5. Contoh perbandingan logika fuzzy

salah. Tidak seperti logika tegas, suatu nilai hanya mempunyai 2 kemungkinan yaitu merupakan suatu anggota himpunan atau tidak. Derajat keanggotaan 0 (nol) artinya nilai bukan merupakan anggota himpunan dan 1 (satu) berarti nilai tersebut adalah anggota himpunan. Dalam contoh kehidupan seseorang dikatakan dewasa apabila berumur lebih dari 18 tahun, maka seseorang yang kurang

dari atau sama dengan 18 tahun di dalam logika tegas akan dikatakan sebagai tidak dewasa atau anak – anak. Sedangkan dalam hal ini pada logika *fuzzy*, seseorang yang berumur sama dengan atau kurang dari 18 tahun dapat dikategorikan dewasa tetapi tidak penuh [8]. Jadi logika *fuzzy* adalah suatu cara yang tepat untuk memetakan suatu ruang input kedalam suatu ruang output. *Fuzzy* dinyatakan dalam derajat dari suatu keanggotaan dan derajat dari kebenaran.

2.6.1 Konsep himpunan fuzzy

Pada himpunan tegas setiap elemen dalam semestanya selalu ditentukan secara tegas apakah elemen itu merupakan anggota himpunan tersebut atau tidak. Tetapi dalam kenyataannya tidak semua himpunan terdefinisi secara tegas. Misalnya himpunan siswa pandai, dalam hal ini tidak bisa dinyatakan dengan tegas karena tidak ada yang dijadikan ukuran untuk tingkat kepandaian seseorang. Oleh karena itu perlu didefinisikan suatu himpunan *fuzzy* yang bisa menyatakan kejadian tersebut. Himpunan *fuzzy* A di dalam semesta pembicaraan U didefinisikan sebagai himpunan yang mencirikan suatu fungsi keanggotaan (\cdot) yang mengawankan setiap ϵ dengan bilangan real di dalam interval $[0,1]$ dengan nilai $A(\cdot)$ menyatakan derajat keanggotaan x di dalam A [8].

2.7 Respon Sistem

Respon sistem merupakan ciri-ciri khusus perilaku dinamik (spesifikasi performansi) Tanggapan (respon) output sistem yang muncul akibat diberikannya suatu sinyal masukan tertentu yang khas bentuknya (disebut sebagai sinyal uji) [12].

2.7.1 Klasifikasi Respon Sistem

Berdasarkan *signal* bentuk sinyal uji yang digunakan, karakteristik respon sistem dapat diklasifikasikan atas dua macam, yaitu:

- **Karakteristik Respon Waktu (*Time Respons*)**, adalah karakteristik respon yang spesifikasi performansinya

didasarkan pada pengamatan bentuk respon output sistem terhadap berubahnya waktu. Secara umum spesifikasi performansi respon waktu dapat dibagi atas dua tahapan pengamatan, yaitu;

- **Spesifikasi Respon *Transient***, adalah spesifikasi respon sistem yang diamati mulai saat terjadinya perubahan sinyal input/gangguan/beban sampai respon masuk dalam keadaan *steady state*. Tolok ukur yang digunakan untuk mengukur kualitas respon *transient* ini antara lain; *rise time*, *delay time*, *peak time*, *settling time*, dan *%overshoot* [12]
- **Spesifikasi Respon *Steady State***, adalah spesifikasi respon sistem yang diamati mulai saat respon masuk dalam keadaan *steady state* sampai waktu tak terbatas (dalam praktek waktu pengamatan dilakukan saat $T_s \leq t \leq 5T_s$). Tolok ukur yang digunakan untuk mengukur kualitas respon *steady state* ini antara lain; %error *steady state* baik untuk eror posisi, eror kecepatan maupun eror percepatan [12]
- **Karakteristik Respon Frekuensi (*Frequency Respons*)**, adalah karakteristik respon yang spesifikasi performansinya didasarkan pengamatan magnitude dan sudut fase dari penguatan/gain (output/input) sistem untuk masukan sinyal sinus ($A \sin \omega t$), pada rentang frekuensi $\omega = 0$ s/d $\omega = \infty$. Tolok ukur yang digunakan untuk mengukur kualitas respon frekuensi ini antara lain; *Frequency Gain Cross Over*, *Frequency Phase Cross Over*, *Frequency Cut-Off* (filter), *Frequency Band-Width* (filter), *Gain Margin*, *Phase Margin*, *Slew-Rate Gain* dan lain-lain.

2.7.2 Spesifikasi Respon Sistem *Transient* Orde Satu

Terdapat beberapa macam ukuran kualitas respon *transient* yang sering digunakan, yaitu :

- ***Time Constan (t)*** Ukuran waktu yang menyatakan kecepatan respon, yang di ukur mulai $t = 0$ s/d respon mencapai 63,2% ($e^{-1} \times 100\%$) dari respon *steady state*
- ***Rise Time (T_R)*** Ukuran waktu yang menyatakan keberadaan suatu respon, yang di ukur mulai respon 5% s/d 95% dari respon *steady state* (dapat pula 10% s/d 90%)
- ***Settling Time (T_S)*** Ukuran waktu yang menyatakan respon telah masuk $\pm 5\%$ atau $\pm 2\%$ atau $\pm 0,5\%$ dari respon *steady state*.
- ***Delay Time (T_D)*** Ukuran waktu yang menyatakan faktor keterlambatan respon output terhadap input, di ukur mulai $t = 0$ s/d respon mencapai 50% dari respon *steady state*.
- ***Overshoot maksimum (Mp)*** Nilai reltif yang menyatakan perbandingan antara nilai maksimum respon (*overshoot*) yang melampaui nilai *steady state* dibanding dengan nilai *steady state* [12]

BAB III

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

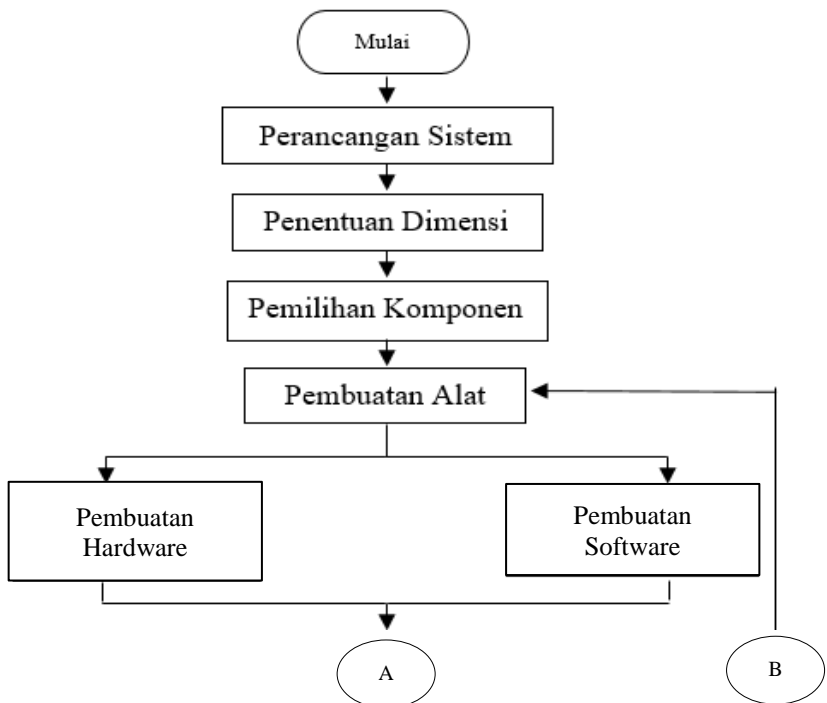
3.1 Alat dan bahan

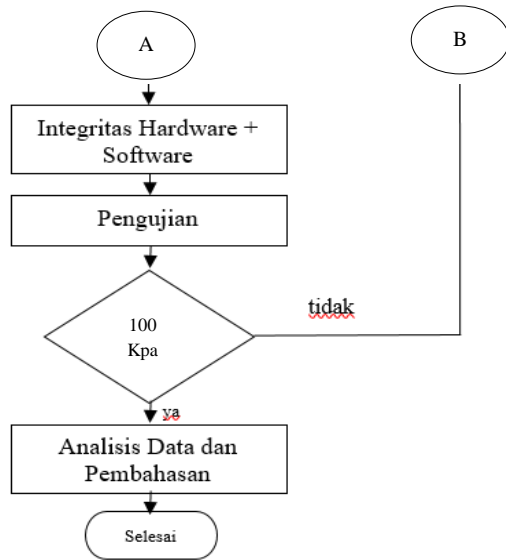
Adapun alat dan bahan yang digunakan untuk mengerjakan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

- Sensor *pressure*
- MOV
- Atmega 32
- *Coil* tembaga ½ dim
- *Steam drum*

3.2 Prosedur perancangan alat

Langkah – langkah perancangan alat ini digambarkan dalam flowchart pengerjaan sebagai berikut :



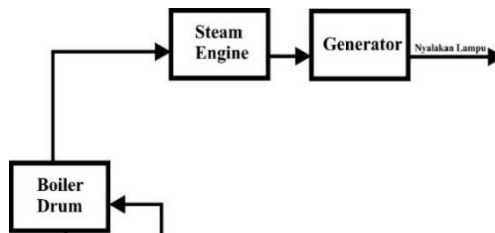


Gambar 3.1 *Flowchart* pengerjaan tugas akhir

Dari gambar *flowchart* tersebut dijelaskan urutan untuk pengerjaan tugas akhir, yaitu dengan proses mulai dari perancangan sistem sampai dengan analisis data dan pembahasan. Berikut adalah penjelasan mengenai setiap proses pada *flowchart* diatas :

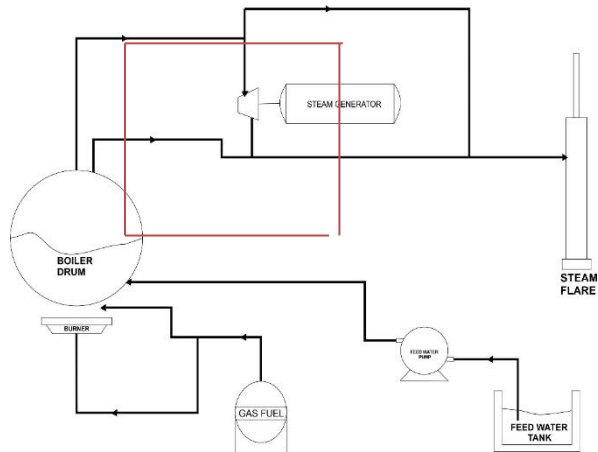
3.2.1 Perancangan Sistem

Pada tahap ini dilakukan perancangan sistem yaitu pembuatan BFD, PFD, P&ID, dan desain 3D :



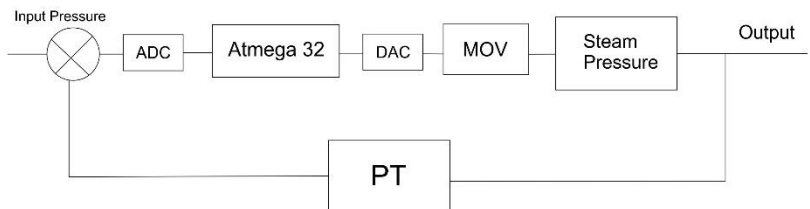
Gambar 3.2 BFD Pengendalian Tekanan Uap

Gambar 3.2 menjelaskan tentang alur dari *block flow diagram* pengendalian tekanan uap boiler yang terdapat boiler drum, steam engine, sebelum memutar generator.



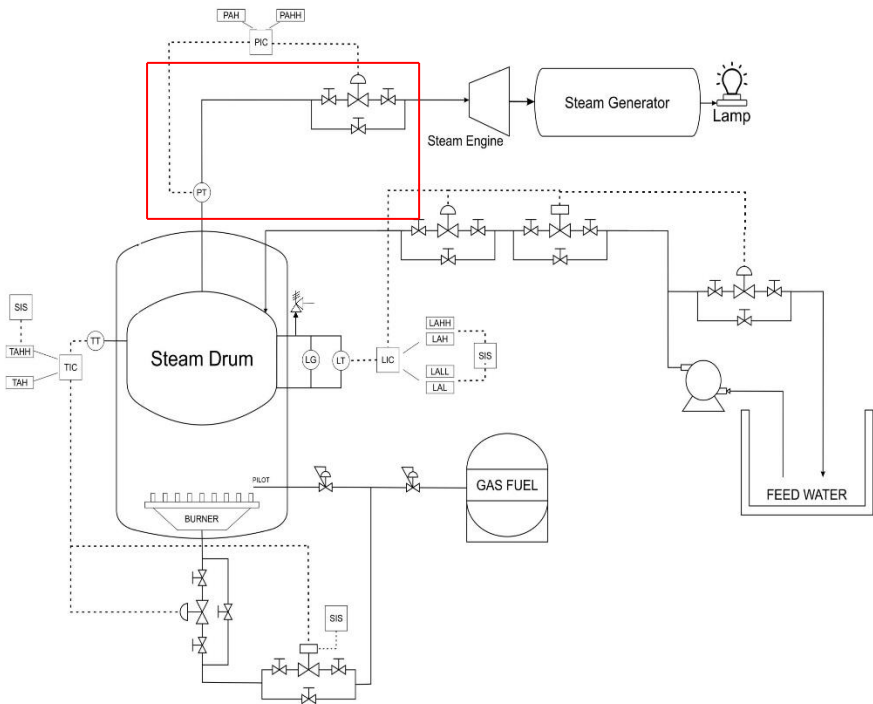
Gambar 3.3 PFD Pengendalian Tekanan Uap

Gambar 3.3 menjelaskan tentang alur dari *process flow diagram* pengendalian tekanan uap boiler yang terdapat steam drum yang akan menghasilkan uap kemudian dikendalikan tekanan uap nya yang keluar sebelum masuk steam generator.



Gambar 3.4 Diagram block Pengendalian Tekanan Uap

Gambar 3.4 menjelaskan tentang *diagram block* dari pengendalian tekanan uap boiler menggunakan atmega32 sebagai mikrokontroler nya. Sebelum sampe ke mikrokontroler terdapat *analog digital converter* (ADC) agar mikrokontroler dapat membaca signal yang masuk dari sensor tekanan *pressure transmitter* (PT), kemudian mikrokontroler mengirimkan signal ke *motor operated valve* (MOV) untuk melakukan aksi buka tutup valve sesuai *set point* tekanan uap.

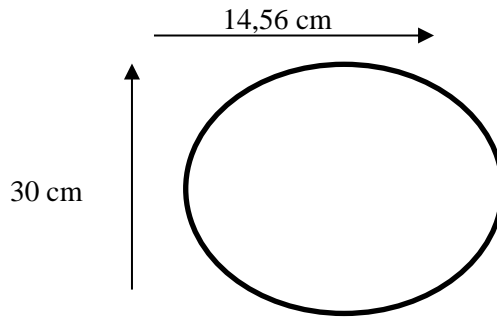


Gambar 3.5 P&ID Pengendalian Tekanan Uap

Gambar 3.5 menjelaskan tentang P&ID dari tekanan uap boiler yang terdapat sebuah *steam drum* untuk tempat produksi *steam*, setelah itu terdapat *pressure transmitter* sebagai sensor tekanan nya.

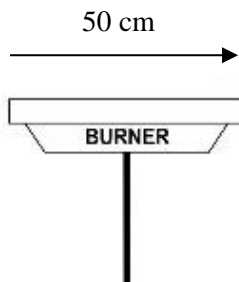
3.2.2 Penentuan Dimensi

Pada tahapan ini dilakukan perhitungan dan penentuan dimensi yaitu :



Gambar 3.6 *Steam drum*

Gambar 3.6 menjelaskan ukuran dari *steam drum* yang digunakan pada *plant* pembangkit listrik tenaga uap adalah ukuran 14,5 cm x 30 cm. *Steam drum* yang digunakan memiliki daya tampung 5 liter yang terbuat dari tabung LPG 3 kg, yang telah di desain untuk *plant* boiler ini .



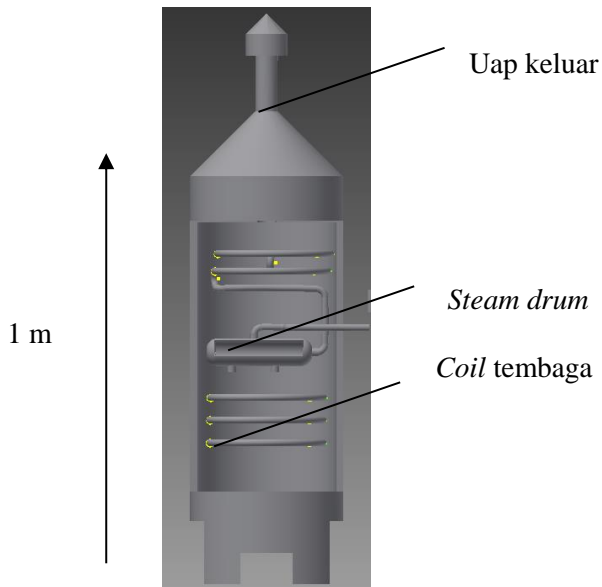
Gambar 3.7 *Furnace*

Gambar 3.7 menjelaskan tentang ukuran dimesi dari *burner* yaitu 50 cm, agar keluaran api yang dihasilkan tidak terlalu besar.



Gambar 3.8 Pipa sambungan *plant*

Gambar 3.8 menjelaskan tentang ukuran sambungan pipa pada *plant* yaitu 2,5 cm, penentuan ukuran tersebut berdasarkan hasil *design* yang menggunakan jenis pipa galvanis.



Gambar 3.9 Badan *boiler*

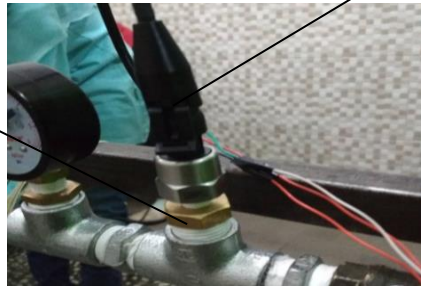
Gambar 3.9 menjelaskan tentang badan *boiler* yang mempunyai tinggi 1 m, di dalam nya terdapat *steam drum* sebagai tempat produksi *steam* dan terdapat *coil tembaga* yang berfungsi untuk proses aliran dari *storage*.

3.2.3 Pemilihan komponen

Pada tahap ini dilakukan pemilihan komponen yang digunakan untuk membuat tugas akhir :

1. Sensor *Pressure*

Sambungan pipa



Gambar 3.10 sensor *pressure* 500 Psi

Gambar 3.10 menjelaskan tentang sensor *pressure* yang digunakan dalam plant ini menggunakan *pressure transmitter* 500 Psi yang berukuran 1/8 inch pada sambungan ke pipa.

2. *Motorized Operated Valve*

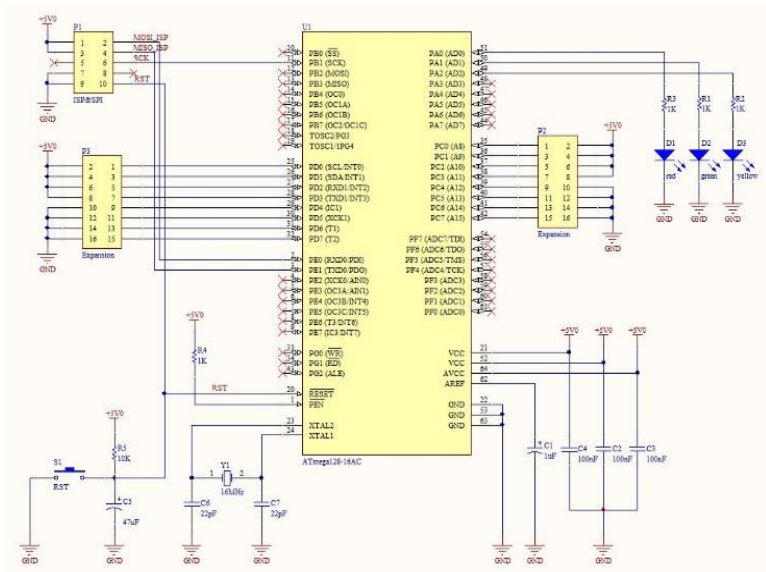
Motor



Gambar 3.11 Bentuk fisik dari motor *valve*

Gambar 3.11 menjelaskan tentang *motor operated valve* yang digunakan dengan tipe *motorized valve* CWX-15N, mempunyai tekanan sampai 1 Mpa dengan ukuran sambungan pada pipa 0,5 inch.

3. Mikrokontroler Atmega 32



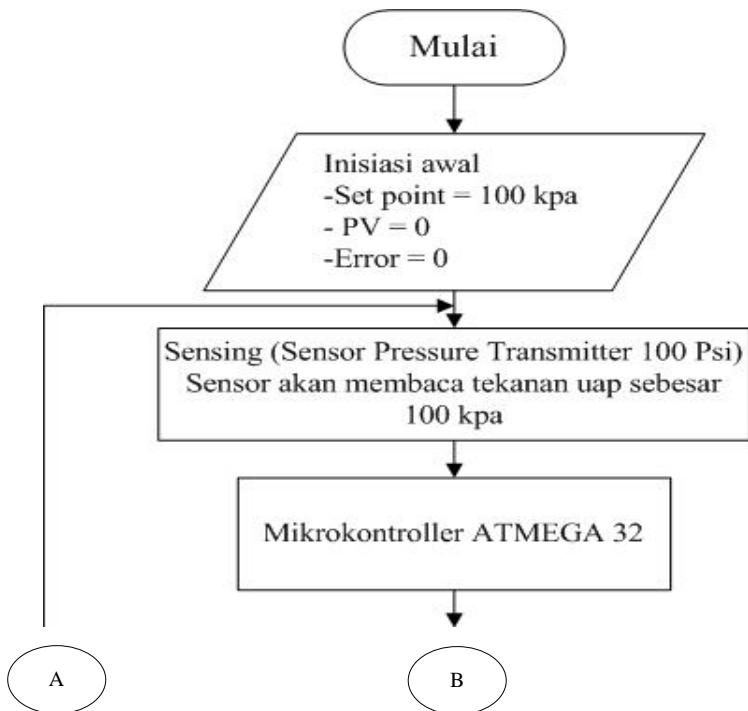
Gambar 3.12 Mikrokontroler atmega 32

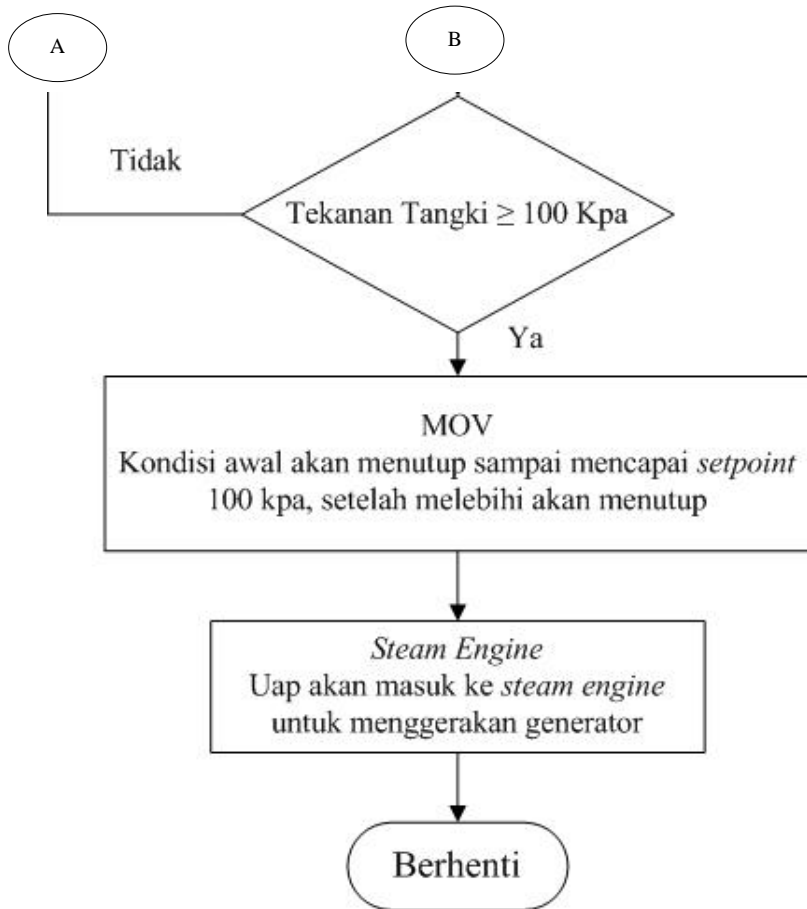
Gambar 3.12 menjelaskan tentang mikrokontroler atmega 32 yang digunakan dalam *plant* ini, di dalam mikrokontroler atmega 32 terdapat Saluran I/O ada 32 buah, yaitu Port A, Port B, Port C, dan Port D, ADC (*Analog to Digital Converter*) 10 bit sebanyak 8 channel. Dan memiliki susunan kaki VCC merupakan pin masukan positif catu daya. Setiap peralatan elektronika digital tentunya butuh sumber catu daya yang umumnya sebesar 5V, GND sebagai ground, AVCC sebagai pin masukan tegangan untuk ADC.

3.2.4 Pembuatan Hardware

Pada tahap ini dilakukan pembuatan hardware seperti flowchart dibawah ini :

Dalam pembuatan hardware tugas akhir ini terdapat beberapa aspek yang perlu diperhatikan. Tugas akhir ini membahas mengenai rancang bangun *steam plant* untuk pembangkit listrik tenaga uap sebagai penunjang praktikum termodinamika terapan. Pada tugas akhir ini, pengendalian yang akan di kendalikan adalah tekanan uap yang akan masuk ke *steam engine* dengan menggunakan atmega 32 sebagai *microntroller* dari sistem pengendalian. Tekanan uap yang keluar dari *steam drum* ditentukan *set point* 100 Kpa yang harus dikendalikan.





Gambar 3.13 Diagram alir pembuatan hardware

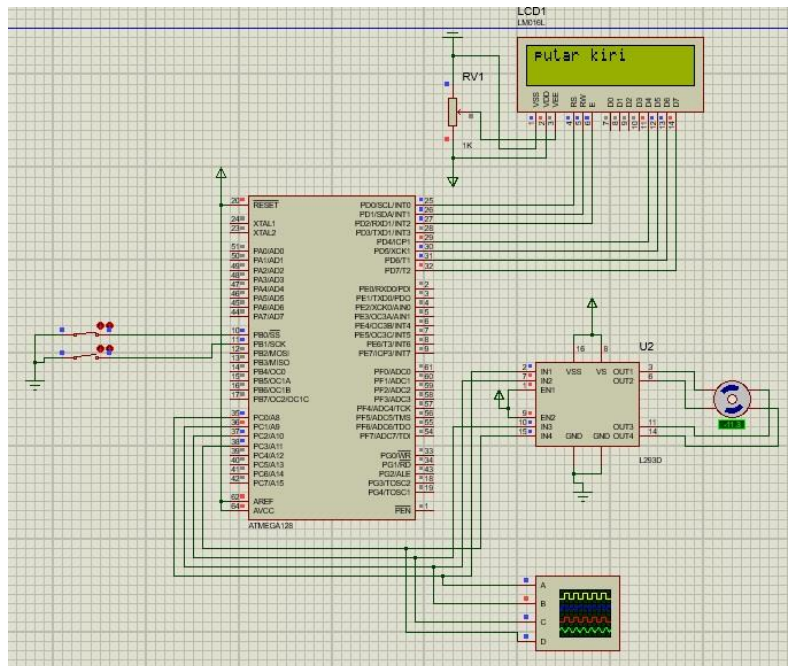
3.2.5 Pembuatan Software

Pada tahap ini dilakukan pembuatan software seperti pada dibawah ini :

Komponen :

- Proteus 8 profesional
- Atmega 32
- MOV
- Resistor 1k

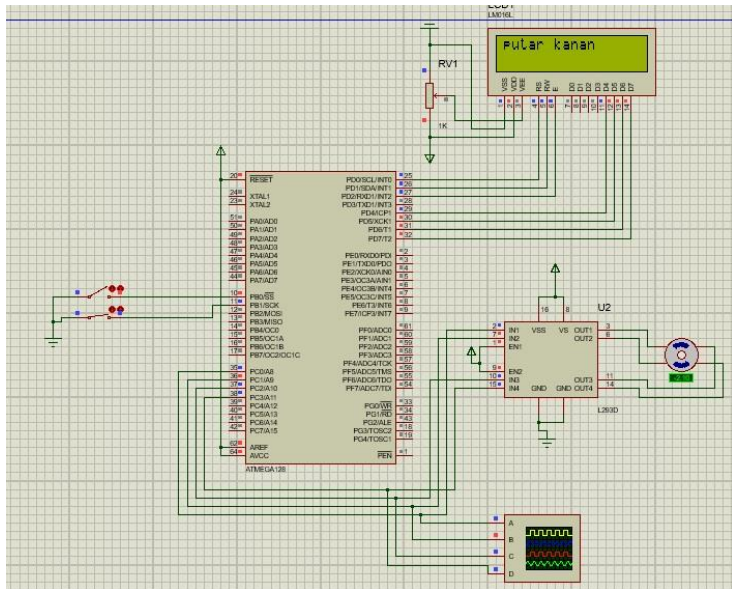
- Modul L293D
- LCD 16x2
- Switch 2 buah
- Oscilloscope



Gambar 3.14 Simulasi software MOV putar kiri

Pada gambar diatas terdapat rangkaian software untuk simulasi pengendalian tekanan uap menggunakan MOV, pada simulasi tersebut menggunakan kontroller atmega 32 yang disambungkan ke MOV. Terdapat LCD 16 x 2 untuk menampilkan putaran dari MOV nya. Selain itu juga terdapat oscilloscope untuk menampilkan sinyal pwm. Apabila pada LCD terlihat putar ke kiri

maka tekanan uap yang dihasilkan melebihi batas set point, MOV akan perlahan menutup ke kiri.



Gambar 3.15 Simulasi software MOV putar ke kanan

Pada gambar simulasi diatas MOV berputar ke kanan menandakan bahwa tekanan uap kurang dari set point 100 Kpa, sehingga pembacaan di LCD akan putar kanan.

BAB IV HASIL DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Rancang Bangun Alat

Berikut ini adalah plan dari sistem pengendalian tekanan uap *boiler* untuk pembangkit listrik tenaga uap.



Gambar 4.1 *Plant boiler*

Dari gambar 4.1 dapat dilihat bahwa *plant boiler* dan seluruh komponen sudah terpasang, sistem yang digunakan adalah air akan dipompa masuk ke dalam *steam drum* yang akan di panasi dengan temperatur mencapai 150°C dengan capaian tekanan uap yang keluar 2 bar / 200 Kpa. Kemudian uap tersebut digunakan untuk menggerakkan *steam engine* , dimana *steam engine* akan menggerakkan generator untuk menyalakan sebuah bola lampu (indikator). Dalam pengambilan data dilakukan sebanyak 4 kali uji yang pertama dengan *set point* 75 Kpa, yang kedua 100 Kpa, yang ketiga 150 Kpa, dan yang terakhir dengan *set point* 200 Kpa. Batas maksimal untuk pengoperasian *plant* ini adalah 200 Kpa karena di atas 200 Kpa terjadi kebocoran pada sambungan pipa dan manual *valve*.



Gambar 4.2 *Pressure Gauge 6 bar*

Gambar 4.2 *pressure gauge* digunakan untuk pembandingan sensor pressure, agar mendapatkan hasil yang sesuai standard. *Pressure gauge* dengan 4 bar dan 6 bar.

4.2 Pengujian Sistem Pengendalian Pressure 75 Kpa

Berikut merupakan hasil pengujian sistem pengendalian *pressure steam drum boiler* yang telah dilakukan.

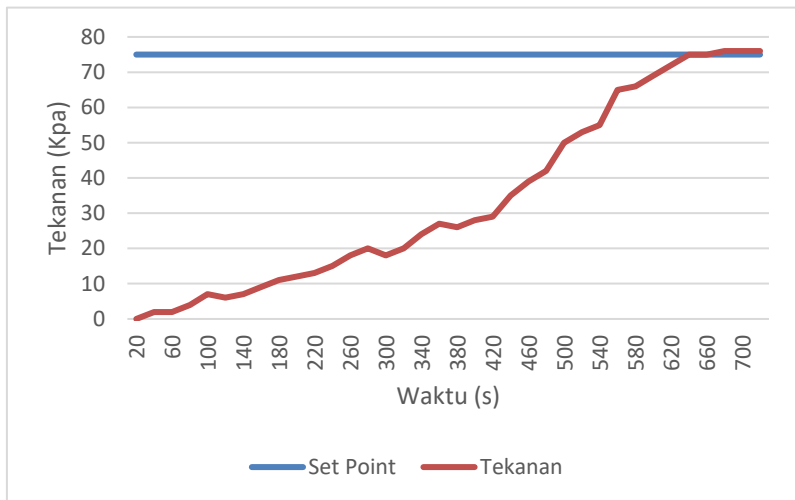
Tabel 4.1 Hasil data pengujian

Waktu (s)	Bukaan (Valve)	Tekanan (Kpa)	Waktu (s)	Bukaan (Valve)	Tekanan (Kpa)
20	100%	0	160	160	9
40	100%	2	180	180	11
60	100%	2	200	200	12
80	100%	4	220	100%	13
100	100%	7	240	100%	15
120	120	6	260	100%	18
140	140	7	280	100%	20

Tabel 4.1 ,Hasil data (Lanjut)

Waktu (s)	Bukaan (Valve)	Tekanan (Kpa)	Waktu (s)	Bukaan (Valve)	Tekanan (Kpa)
300	100%	18	520	100%	53
320	100%	20	540	100%	55
320	100%	18	560	100%	65
320	100%	20	580	100%	66
340	100%	24	600	100%	69
360	100%	27	620	100%	72
380	100%	26	640	100%	75
400	100%	28	660	100%	75
420	100%	29	680	90%	76
440	100%	35	700	90%	76
460	100%	39	720	90%	76

Dari data tabel 4.1 maka dapat dianalisa respon sistem dari pengendalian tekanan uap dengan *set point* 75 Kpa seperti gambar 4.3 berikut :

**Gambar 4.3** Grafik respon sistem 75 Kpa

Dari grafik respon sistem *set point* 75 Kpa diatas didapatkan hasil respon sistem seperti berikut:

1. *Rise time*, ukuran waktu yang diukur mulai dari respon detik ke 0 sampai dengan respon memotong *steady state* pertama selama 640 detik.

2. *Maximum Overshoot*, nilai maksimum dari kurva respons yang diukur. Nilai *peak time* pada sistem didapatkan sebesar 76 Kpa.

$$Mp = \frac{C(tp) - C_{\infty}}{C_{\infty}} \times 100\% \dots\dots\dots 4.1$$

Dimana:

Mp = *Maximum Overshoot*

$C(tp)$ = Nilai *peak time* (Nilai Tertinggi)

$C(\infty)$ = Nilai *setpoint*

$$Mp = \frac{76 - 75}{75} \times 100\% = 1,33 \%$$

3. *Settling time*, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai *steady state* dengan persentase $\pm 5\%$ dari *setpoint*. *Settling time* pada pengendalian tekanan dengan *set point* 75 Kpa di dapatkan nilai sebagai berikut.

$$tc = S. P \pm (S. P \times 5\%) \dots\dots\dots 4.2$$

Dimana:

tc = *Settling Time*

$S. P$ = *Setpoint*

$$tc = 75 \pm (2 \times 5\%)$$

$$tc = 75 \pm 0,1$$

$$tc = 75,1 \text{ Kpa selama 660 detik atau}$$

$$tc = 74,9 \text{ Kpa selama 630 detik}$$

Gambar 4.3 menunjukkan bahwa nilai *rise time* pada uji respon sistem pengendalian tekanan selama 640 detik. Untuk lebih jelasnya gambar 4.3 dapat dilihat pada lampiran E grafik respon sistem 75 Kpa.

4.3 Pengujian Sistem Pengendalian Pressure 100 Kpa

Berikut merupakan hasil pengujian sistem pengendalian *pressure steam drum boiler* yang telah dilakukan.

Tabel 4.2 Hasil data pengujian

Waktu (s)	Bukaan (Valve)	Tekanan (Kpa)	Waktu (s)	Bukaan (Valve)	Tekanan (Kpa)
20	100%	4	320	100%	18
40	100%	5	340	100%	20
60	100%	6	360	100%	18
80	100%	4	380	100%	20
100	100%	7	400	100%	25
120	100%	8	420	100%	27
140	100%	8	440	100%	26
160	100%	11	460	100%	28
180	100%	12	480	100%	29
200	100%	14	500	100%	33
220	100%	13	520	100%	39
240	100%	15	540	100%	42
260	100%	18	560	100%	50
280	100%	20	580	100%	53
300	100%	18	600	100%	55
620	100%	80	720	100%	100
640	100%	82	740	90%	102
660	100%	87	760	80%	102
680	100%	92	780	70%	100
700	100%	95	800	60%	105

Dari data tabel 4.2 maka dapat dianalisa respon sistem dari pengendalian tekanan uap dengan *set point* 100 Kpa seperti pada gambar 4.4.

Dari grafik respon sistem *set point* 100 Kpa diatas didapatkan hasil respon sistem seperti berikut:

4. *Rise time*, ukuran waktu yang diukur mulai dari respon detik ke 0 sampai dengan respon memotong *steady state* pertama selama 710 detik.
5. *Maximum Overshoot*, nilai maksimum dari kurva respons yang diukur. Nilai *peak time* pada sistem didapatkan sebesar 105 Kpa.

$$Mp = \frac{C(tp) - C_{\infty}}{C_{\infty}} \times 100\% \dots\dots\dots 4.3$$

Dimana:

Mp = *Maximum Overshoot*

$C(tp)$ = Nilai *peak time* (Nilai Tertinggi)

$C(\infty)$ = Nilai *setpoint*

$$Mp = \frac{105 - 100}{100} \times 100\% = 5\%$$

6. *Settling time*, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai *steady state* dengan persentase $\pm 5\%$ dari *setpoint*. *Settling time* pada pengendalian tekanan dengan *set point* 100 Kpa di dapatkan nilai sebagai berikut.

$$tc = S. P \pm (S. P \times 5\%) \dots\dots\dots 4.3$$

Dimana:

tc = *Settling Time*

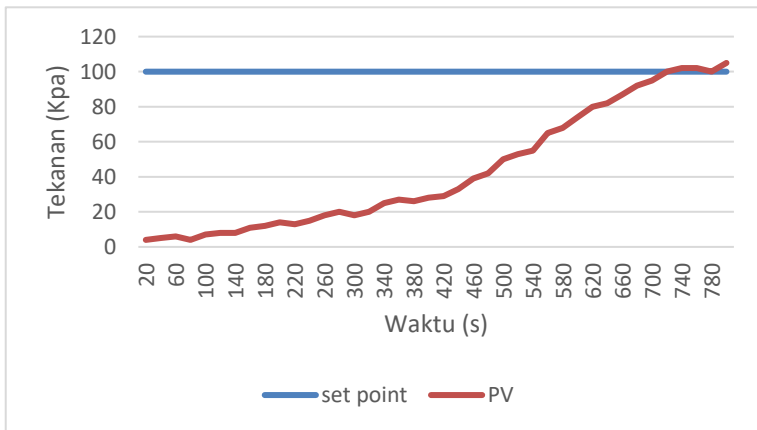
$S. P$ = *Setpoint*

$$tc = 100 \pm (2 \times 5\%)$$

$$tc = 100 \pm 0,1$$

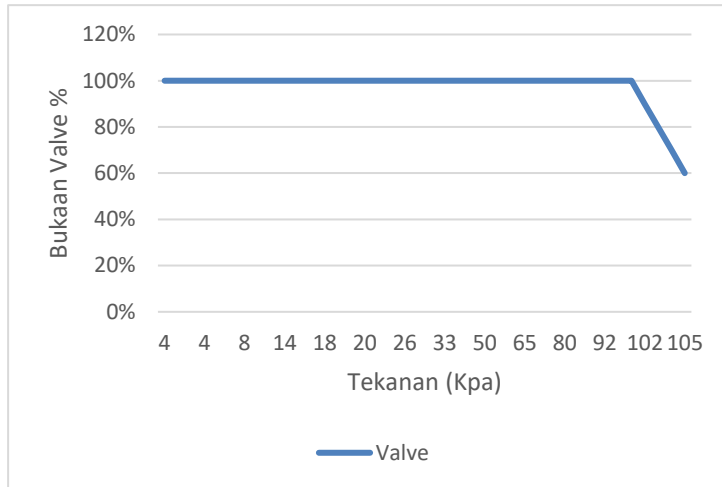
$tc = 100,1$ Kpa selama 730 detik atau

$tc = 99,9$ Kpa selama 720 detik



Gambar 4.4 Grafik respon sistem 100 Kpa

Gambar 4.4 menunjukkan bahwa nilai *rise time* pada uji respon sistem pengendalian tekanan selama 710 detik. Untuk lebih jelasnya gambar 4.4 dapat dilihat pada lampiran E grafik respon sistem 100 Kpa.



Gambar 4.5 Grafik respon bukaan *valve* terhadap tekanan

Dalam gambar 4.5 dapat dilihat bahwa ketika waktu kondisi awal masih belum mencapai *set point* maka *valve* terbuka 100% dan ketika *pressure* telah mencapai *set point* 100 Kpa atau telah terisi tekanan maka *valve* akan mulai menutup 10% terus agar *pressure* yang dijaga stabil. Sistem ini sama semua meskipun *set point* yang akan diganti mulai dari 75 Kpa, 100 Kpa, 150 Kpa, sampai 200 Kpa.

4.4 Pengujian Sistem Pengendalian *Pressure* 150 Kpa

Berikut merupakan hasil pengujian sistem pengendalian *pressure steam drum boiler* yang telah dilakukan.

Tabel 4.3 Hasil data pengujian

Waktu (s)	Bukaan (Valve)	Tekanan (Kpa)	Waktu (s)	Bukaan (Valve)	Tekanan (Kpa)
30	100%	4	540	100%	54
60	100%	7	570	100%	60
90	100%	6	600	100%	66
120	100%	7	630	100%	73
150	100%	7	660	100%	78
180	100%	11	690	100%	84
210	100%	13	720	100%	90
240	100%	15	750	100%	111
270	100%	17	780	100%	115
300	100%	17	810	100%	126
330	100%	19	840	100%	133
360	100%	20	870	100%	137
390	100%	26	900	100%	140
420	100%	30	930	100%	145
450	100%	39	960	100%	150
480	100%	44	990	90%	156
510	100%	49	1200	80%	156

Dari data tabel 4.3 maka dapat dianalisa respon sistem dari pengendalian tekanan uap dengan *set point* 150 Kpa seperti pada gambar 4.6

Dari grafik respon sistem *set point* 150 Kpa pada gambar 4.6 didapatkan hasil respon sistem seperti berikut:

1. *Rise time*, ukuran waktu yang diukur mulai dari respon detik ke 0 sampai dengan respon memotong *steady state* pertama selama 940 detik.
2. *Maximum Overshoot*, nilai maksimum dari kurva respons yang diukur. Nilai *peak time* pada sistem didapatkan sebesar 156 Kpa.

$$Mp = \frac{c(tp) - c_{\infty}}{c_{\infty}} \times 100\% \dots\dots\dots 4.4$$

Dimana:

Mp = *Maximum Overshoot*

$C(tp)$ = Nilai *peak time* (Nilai Tertinggi)

$C(\infty)$ = Nilai *setpoint*

$$Mp = \frac{156-150}{150} \times 100\% = 4\%$$

3. *Settling time*, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai *steady state* dengan persentase $\pm 5\%$ dari *setpoint*. *Settling time* pada pengendalian tekanan dengan *setpoint* 150 Kpa di dapatkan nilai sebagai berikut.

$$tc = S.P \pm (S.P \times 5\%) \dots\dots\dots 4.5$$

Dimana:

tc = *Settling Time*

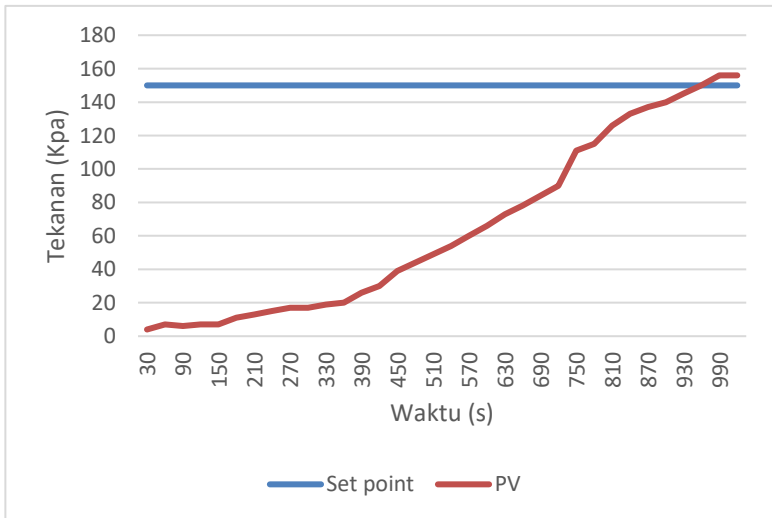
$S.P$ = *Setpoint*

$$tc = 150 \pm (2 \times 5\%)$$

$$tc = 150 \pm 0,1$$

tc = 150,1 Kpa selama 960 detik atau

tc = 149,9 Kpa selama 950 detik



Gambar 4.6 Grafik respon sistem set point 150 Kpa

Gambar 4.6 menunjukkan bahwa nilai *rise time* pada uji respon sistem pengendalian tekanan selama 940 detik. Untuk lebih jelasnya gambar 4.4 dapat dilihat pada lampiran E grafik respon sistem 150 Kpa

4.5 Pengujian Sistem Pengendalian *Pressure* 200 Kpa

Berikut merupakan hasil pengujian sistem pengendalian *pressure steam drum boiler* yang telah dilakukan.

Tabel 4.4 Hasil data pengujian

Waktu (Menit)	Bukaan (Valve)	Tekanan (Kpa)	Waktu (Menit)	Bukaan (Valve)	Tekanan (Kpa)
1	100%	9	14	100%	99
2	100%	11	15	100%	119
3	100%	17	16	100%	126
4	100%	17	17	100%	145
5	100%	23	18	100%	155
6	100%	29	19	100%	160
7	100%	35	20	100%	168
8	100%	39	21	100%	176
9	100%	47	22	100%	181
10	100%	55	23	100%	188
11	100%	67	24	100%	196
12	100%	74	25	100%	200
13	100%	86	26	90%	201
27	80%	202	28	80%	202

Dari data tabel 4.4 maka dapat dianalisa respon sistem dari pengendalian tekanan uap dengan *set point* 200 Kpa seperti pada gambar 4.7

Dari grafik respon sistem *set point* 200 Kpa pada gambar 4.7 didapatkan hasil respon sistem seperti berikut:

1. *Rise time*, ukuran waktu yang diukur mulai dari respon detik ke 0 sampai dengan respon memotong *steady state* pertama selama 24 Menit.

2. *Maximum Overshoot*, nilai maksimum dari kurva respons yang diukur. Nilai *peak time* pada sistem didapatkan sebesar 202 Kpa.

$$Mp = \frac{C(tp) - C_{\infty}}{C_{\infty}} \times 100\% \dots\dots\dots 4.6$$

Dimana:

Mp = *Maximum Overshoot*

$C(tp)$ = Nilai *peak time* (Nilai Tertinggi)

$C(\infty)$ = Nilai *setpoint*

$$Mp = \frac{202 - 200}{200} \times 100\% = 1\%$$

3. *Settling time*, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai *steady state* dengan persentase $\pm 5\%$ dari *setpoint*. *Settling time* pada pengendalian tekanan dengan *setpoint* 200 Kpa di dapatkan nilai sebagai berikut.

$$tc = S.P \pm (S.P \times 5\%) \dots\dots\dots 4.7$$

Dimana:

tc = *Settling Time*

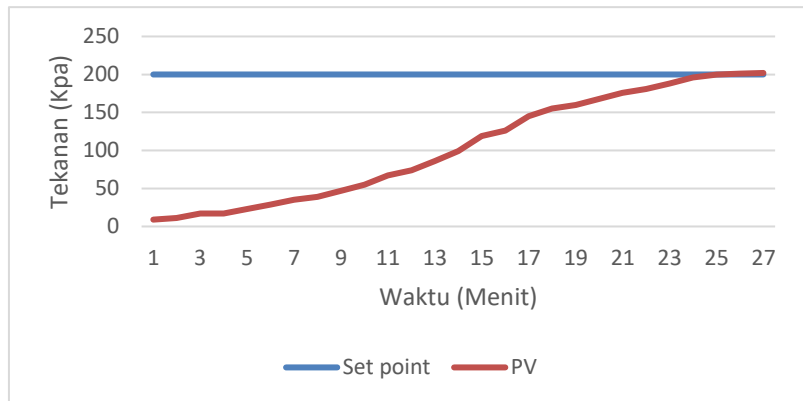
$S.P$ = *Setpoint*

$$tc = 200 \pm (2 \times 5\%)$$

$$tc = 200 \pm 0,1$$

tc = 200,1 Kpa selama 25 menit atau

tc = 199,9 Kpa selama 24 menit



Gambar 4.7 Grafik respon sistem set point 200 Kpa

Gambar 4.7 menunjukkan bahwa nilai rise time pada uji respon sistem pengendalian tekanan selama 24 menit. Untuk lebih jelasnya gambar 4.4 dapat dilihat pada lampiran E grafik respon sistem 200 Kpa. Pada gambar 4.7 menunjukkan bahwa waktu yang digunakan untuk mencapai set point sebesar 200 Kpa yaitu 25 menit. Data yang diambil pada tabel 4.4 tersebut adalah setiap satu menit sekali, karena agar proses pengambilan data dari awal sampai *set point* tidak terlalu lama. Pada pengoperasian tekanan 200 Kpa tersebut sebenarnya sudah maksimal dari batas pengoperasian *plant*. Karena pada tekanan 200 Kpa suhu yang terjadi pada *steam drum* 130,14 °C, suhu tersebut melebihi batas maksimal sensor yaitu 120°C.

4.5 Pembahasan

Pada tugas sistem pengendalian tekanan uap *boiler* ini telah dilakukan 4 kali percobaan salah satunya pengambilan data dengan set point 75 Kpa, 100 Kpa, 150 Kpa, 200 Kpa. Beberapa kali percobaan tersebut dilakukan agar mengetahui respon plan yang dapat dioperasikan dengan set point yang berbeda-beda, untuk batas maksimal pengoperasian yaitu 200 Kpa karena suhu yang terlalu tinggi membuat pembacaan sensor mengacak. pada satuan besaran sensor menggunakan Kpa karena saat menggunakan satuan bar kenaikan sedikit dari sensor sulit untuk dilihat, setelah melakukan visitasi alat disuruh mengganti menggunakan satuan Kpa yang setara 1 bar = 100 Kpa. Hasil uji pengendalian yang dilakukan menunjukan bahwa semakin temperature tinggi maka *pressure* yang naik juga semakin tinggi. Untuk mencapai 100 Kpa dibutuhkan waktu 15 menit dengan proses pembakaran awal yang membutuhkan api konstan untuk mendapatkan uap / *steam* yang tinggi, selain itu juga bukaan valve akan membuka 100% pada kondisi awal sampai mencapai *set point* 100 Kpa setelah mencapai *set point* maka bukaan *valve* akan mulai menutup 10% terus sampai

mempertahankan kondisi *steady state* sebesar 100 Kpa. Respon sistem gambar 4.4 memiliki *rise time* 700s, *peak time* 740s, *settling time* 720s. Tetapi uap yang dihasilkan tidak bisa menggerakkan *steam engine*, meskipun diberi tekanan 100 Kpa *steam engine* tidak mampu berputar. Disalah salah *steam engine* terdapat lubang yang bisa membuat kebocoran uap yang akan masuk ke *steam engine*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari hasil pembuatan tugas akhir ini yaitu:

1. Telah tercipta rancang bangun sistem pengendalian terhadap variabel proses *pressure* pada mini plant *steam engine*
2. Pengujian 75 Kpa menunjukkan bahwa nilai *rise time* pada uji respon sistem pengendalian tekanan selama 640 detik, *settling time* 660 detik
3. Pengujian 100 Kpa menunjukkan bahwa nilai *rise time* pada uji respon sistem pengendalian tekanan selama 710 detik, *settling time* 730 detik
4. Pengujian 150 Kpa menunjukkan bahwa nilai *rise time* pada uji respon sistem pengendalian tekanan selama 940 detik, *settling time* 960 detik
5. Pengujian 200 Kpa menunjukkan bahwa nilai *rise time* pada uji respon sistem pengendalian tekanan selama 24 menit, *settling time* 25 menit

5.2 Saran

Adapun saran dari hasil pembuatan tugas akhir ini yaitu sebagai berikut:

1. Seharusnya pada setiap sambungan atau *elbow* lebih dirapatkan agar tekanan uap yang keluar dari *steam drum* tidak terjadi kebocoran.
2. Sebelum melakukan running plant supaya di *check* terlebih dahulu semua komponen, sambungan agar tidak terjadi error.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wicaksono, Amri akbar.”***Perancangan sistem pengendalian pembakaran pada duct waste heat boiler berbasis logic solver***”, Teknik Fisika-FTI-ITS, Surabaya.
- [2] Yusuf, Ismail, 2016. “***Rancang Bangun Generator Magnet Permanen Untuk Pembangkit Tenaga Listrik Skala Kecil Menggunakan Kincir Angin Savonius Portabel***”
- [3] ATMEL. 2002. “***8-Bit Microcontroller With 128k Bytes In-System Proglamable Flash***”
- [4] Ardian, Oktakaisar. dan supari. “**Perancangan Sistem Pemodelan Kontrol Level Air Steam Srum Berbasis Jaringan Syaraf Tiruan**”, Teknik Elektro-FT-UDINUS, Semarang
- [5] Eko Lutfi Ghozali, Fitri Adi Iskandarianto, Mochamad Ilyas Hs. (2013).“**Rancang Bangun Sistem Kontrol Level dan Pressure Steam Generator pada Simulator Mixing Process di Workshop Instrumentasi**”, Teknik Fisika-FTI-ITS, Surabaya.
- [6] Prof. Sachchidanand J Nimankar, Laxman Yevale, Dhires Shivalkar. (2017).” **STEAM ENGINE BY USING FRESNEL LENSES**”, Department of Mechanical Engineering, SSPM's College of Engineering, Kankavli, India.
- [7] Winoto, Ardi 2008, Mikrokontroler AVR ATmega8/32/16/8535 dan program Bahasa C pada WinAVR, Informatika, Bandung.
- [8] Philips,Charles, ”Dasar-dasar Sistem Kontrol”, PT Prehanlindo,1996.
- [9] Ogata,Katsuhiko, ”Teknik Kontrol Automatik”, Penerbit Erlangga,1996.
- [10] Hossein R. K., et al. 2011. Generalized Model Predictive Control for a Multivariable Boiler- Turbine Unit. 11th International

Conference on Control, Automation and Systems. Oct. 26-29,2011
in KINTEX, Gyeonggi-do, Korea. pp. 811-814.

[11] F. P. de Mello. et al. 1991. Boiler Models For System
Dynamic Performance Studies. IEEE TransactionS on Power
Systems, Vol.6, No.1, February 1991. pp. 66-74

[12] “Laboratorium Teknik Pengukuran”,versi 2005

Lampiran A :

1. Atmega 32

Features

- High-performance, Low-power Atmel® AVR® 8-bit Microcontroller
- Advanced RISC Architecture
 - 131 Powerful Instructions – Most Single-clock Cycle Execution
 - 32 x 8 General Purpose Working Registers
 - Fully Static Operation
 - Up to 16 MIPS Throughput at 16MHz
 - On-chip 2-cycle Multiplier
- High Endurance Non-volatile Memory segments
 - 32Kbytes of In-System Self-programmable Flash program memory
 - 1024Bytes EEPROM
 - 2Kbytes Internal SRAM
 - Write/Erase Cycles: 10,000 Flash/100,000 EEPROM
 - Data retention: 20 years at 85°C/100 years at 25°C⁽¹⁾
 - Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits
 - In-System Programming by On-chip Boot Program
 - True Read-While-Write Operation
 - Programming Lock for Software Security
- JTAG (IEEE std. 1149.1 Compliant) Interface
 - Boundary-scan Capabilities According to the JTAG Standard
 - Extensive On-chip Debug Support
 - Programming of Flash, EEPROM, Fuses, and Lock Bits through the JTAG Interface
- Peripheral Features
 - Two 8-bit Timer/Counters with Separate Prescalers and Compare Modes
 - One 16-bit Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare Mode, and Capture Mode
 - Real Time Counter with Separate Oscillator
 - Four PWM Channels
 - 8-channel, 10-bit ADC
 - 8 Single-ended Channels
 - 7 Differential Channels in TQFP Package Only
 - 2 Differential Channels with Programmable Gain at 1x, 10x, or 200x
 - Byte-oriented Two-wire Serial Interface
 - Programmable Serial USART
 - Master/Slave SPI Serial Interface
 - Programmable Watchdog Timer with Separate On-chip Oscillator
 - On-chip Analog Comparator
- Special Microcontroller Features
 - Power-on Reset and Programmable Brown-out Detection
 - Internal Calibrated RC Oscillator
 - External and Internal Interrupt Sources
 - Six Sleep Modes: Idle, ADC Noise Reduction, Power-save, Power-down, Standby and Extended Standby
- I/O and Packages
 - 32 Programmable I/O Lines
 - 40-pin PDIP, 44-lead TQFP, and 44-pad QFN/MLF
- Operating Voltages
 - 2.7V - 5.5V for ATmega32L
 - 4.5V - 5.5V for ATmega32
- Speed Grades
 - 0 - 8MHz for ATmega32L
 - 0 - 16MHz for ATmega32
- Power Consumption at 1MHz, 3V, 25°C
 - Active: 1.1mA
 - Idle Mode: 0.35mA
 - Power-down Mode: < 1µA



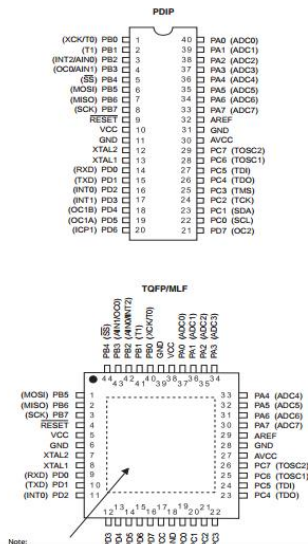
8-bit AVR®
Microcontroller
 with 32KBytes
In-System
Programmable
Flash

ATmega32
ATmega32L

ATmega32(L)

Pin Configurations

Figure 1. Pinout ATmega32



Lampiran B :

2. MOV (motorized valve CWX-15N)

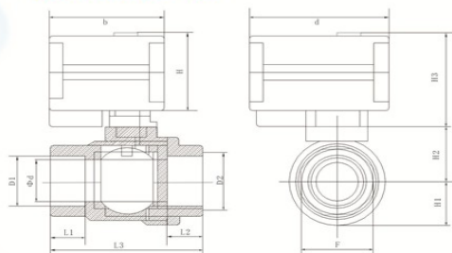
Specifications:

- ² Size: DN8-25 (1/4, 1/2, 3/4, and 1 inch)
- ² Material: Stainless, Brass,
- ² Voltage: DC3-6V, DC12V, DC24V, AC/DC 9-24V, DC5V, AC85-265V, DC3-6V
- ² Rated Current: 45-100 Ma, Power: Max 4W
- ² Output Torque: 1.5-2Nm, Opening/closing time: 3-5 seconds.
- ² IP65 Enclosure
- ² Working pressure: 1.0Mpa(150 Psi)
- ² Medium temperature: 0-90 Centigrade
- ² BSP or NPT thread

Parameters

Model	CWX-15N/Q
Rated Voltage	DC3-6V/AC/DC9-24V
Rated current	45-100mA
Output Torque	Q-1.5Nm, N-2NM
Valve Size	DN8-25
Open/Close Time	Q-3 seconds N-5 seconds
Control Mode	CR01/02/03/04/05/06
Enclosure	IP65
Working Pressure	Max1.0MPa
Medium Temperature	0-90℃
Special Function	position indicator/quick open
Product life	100000 times

Product Dimension Figure



Appearance drawing (mm)

CWX WIRING PROJECT

CR01 wiring Diagram (two wires)



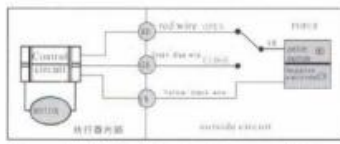
1. Connecting SW and OPEN, the valve opens, getting the position, automatically power off, the valve remains fully Open position.
2. Connecting SW and CLOSE, the valve close, getting the position, automatically power off, the valve remains side pusses position (fully closed)

CR03 Wiring diagram (three wires)



1. SW closed, the valve opens, getting the position, power off automatically, remains fully open position.
2. SW opened, the valve closed, getting the position, power-off automatically, remains fully close position.

CR02 wiring diagram (three wires)



1. Connecting SW and OPEN, the valve opens, getting the position, automatically power off, the valve remains fully open position.
2. Connecting SW and CLOSE, the valve close, getting the position, automatically power off, the valve remains side pusses position (fully closed)

CR04 Wiring diagram (power off return)



1. SW closed, the valve open/close, getting the position, power off automatically, the valve remains fully open/close position.
2. SW opened, the valve close/open, getting the position, Power off automatically, the valve remains fully close/open Position.

Lampiran C :

3. Pressure Transmitter 500 Psi

Spesifikasi	Kategori	: Elektronik Lainnya
	Berat	: 150 gram

Deskripsi	<p>Feature:</p> <ul style="list-style-type: none">-Brand new pressure transducer. Stainless steel body, with high quality ceramic pressure chip.-Input: 0-500 psi.-Output: 0.5V 4.5V ar voltage output. 0 psi outputs 0.5V, 250 psi outputs 2.5V, 500 psi outputs 4.5V.-Works for oil, fuel, water or air pressure. Can be used in oil tank, gas tank, etc.-Accuracy: within 2% of reading (full scale).-Thread: 1/8-27 NPT.-Wiring connector: water sealed quick disconnect.-Mating connector is included.-Wiring: Red for +5V. Black for ground. White for signal output.-Overload Capacity: 2-4 times.-Working Temperature: -40+120C.-Compensation Temperature: -20+80C.-Protection Class: IP67.-It is an advance pressure sender than traditional mechanical pressure sender.-Our material is using top of 316 stainless steel (not 304) and high temperature auto-graded plastic. <p>Package included:</p> <p>1*500 psi Pressure transducer</p>
-----------	--

Lampiran D :

4. Coding

```
void read_pressure(){
    filter_data = 0;
    n = 0;
    while(n<10){
        read_volt = read_adcPressure/1023.0 * 5.0;
        read_real = read_volt/10.0;    // konversi ke nilai tegangan real sebelum
        penguatan
        read_psi = read_real/0.008;    // 0.008 didapat dari perhitungan 1 psi =
        8mV
        pressure_bar = read_psi*6.89475728; // 6,89475728 didapat dari konversi 1
        psi = 6,89475728 kPa
        filter_data += pressure_bar;
        delay_ms(50); ++n;
    }
    pressure = filter_data/10.0;
    sprintf(display,"PRESSURE:%3d kPa  ",pressure);
    lcd_gotoxy(0,1);  lcd_puts(display);

    if(pressure < 90){
        if(mov3_deg < 100)
        {
            mov_pressure(2); //MOV OPEN
            mov_pressure(3);
```

```

    }

} else if (pressure > 100) {
    if (mov3_deg > 10) {
        mov_pressure(1); //MOV CLOSE
        mov_pressure(3);
    }
} else if (pressure >= 90 && pressure <= 100) {
    mov_pressure(3);
}
}

void mov_pressure(int condition_pressure) {
    if (condition_pressure == 1) { //MOV CLOSE
        mov_pressure_close = 0;
        mov_pressure_open = 1;
        mov3_deg -= 10;
        delay_ms(250);
    }

    if (condition_pressure == 2) { //MOV OPEN
        mov_pressure_close = 1;
        mov_pressure_open = 0;
        mov3_deg += 10;
        delay_ms(250);
    }

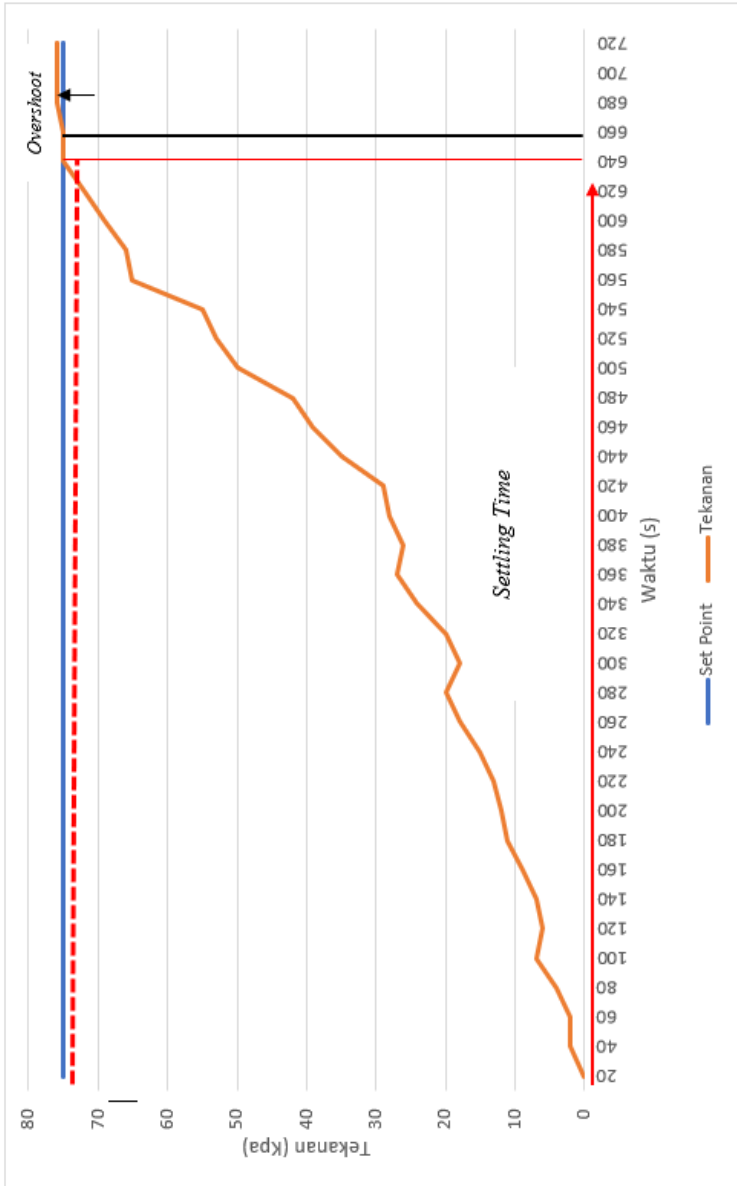
    if (condition_pressure == 3) { //MOV no operation
        mov_pressure_close = 1;

```

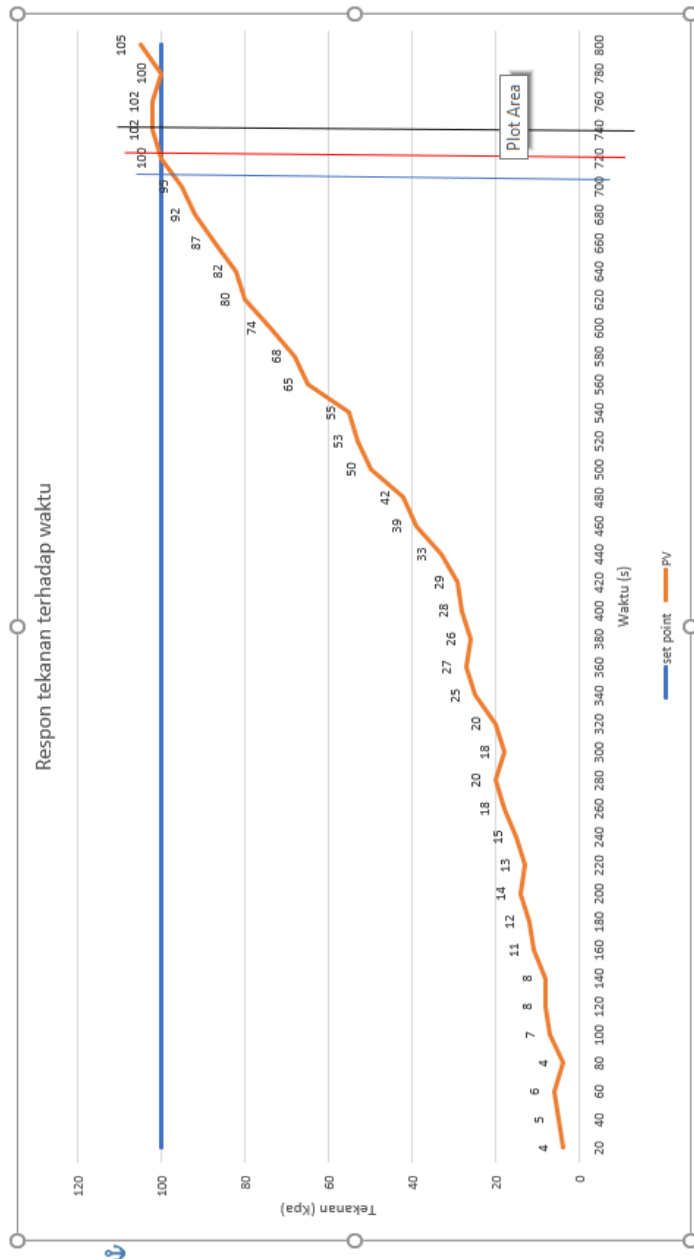
```
    mov_pressure_open = 1;
}
sprintf(display,"M3:%3d",mov3_deg);
lcd_gotoxy(14,3);  lcd_puts(display);
}
```


Lampiran E :

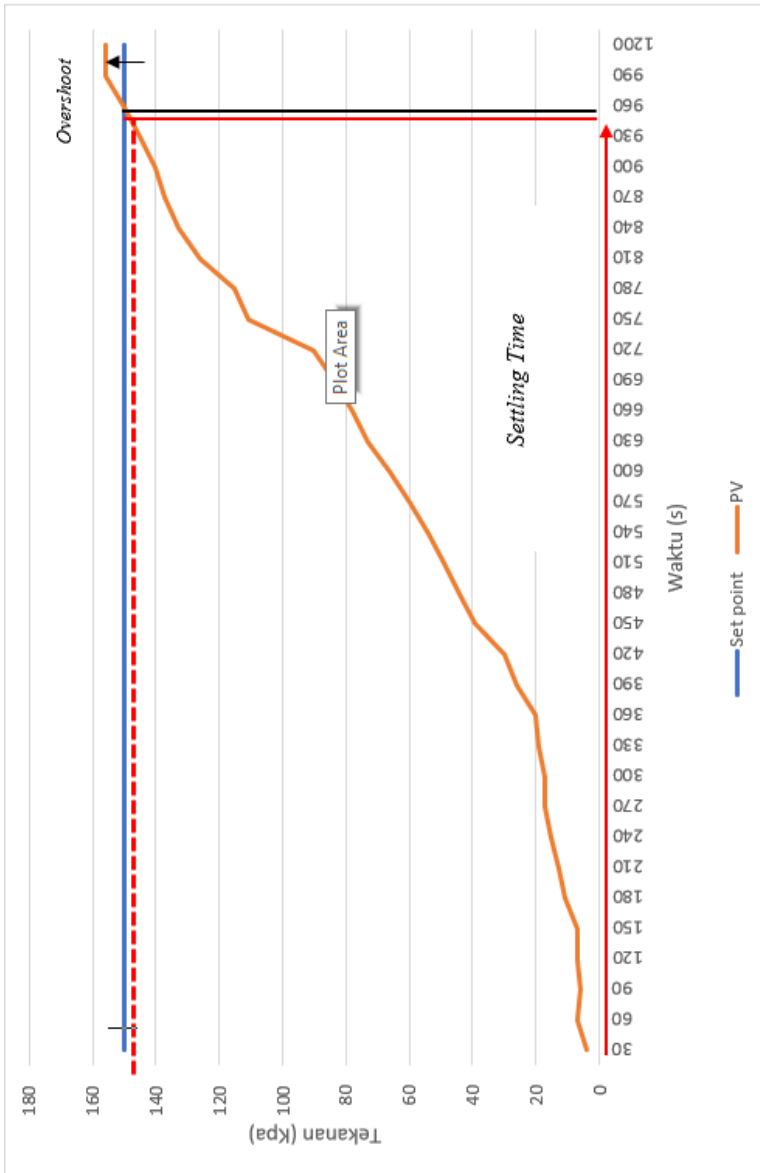
- Grafik respon sistem 75 Kpa :



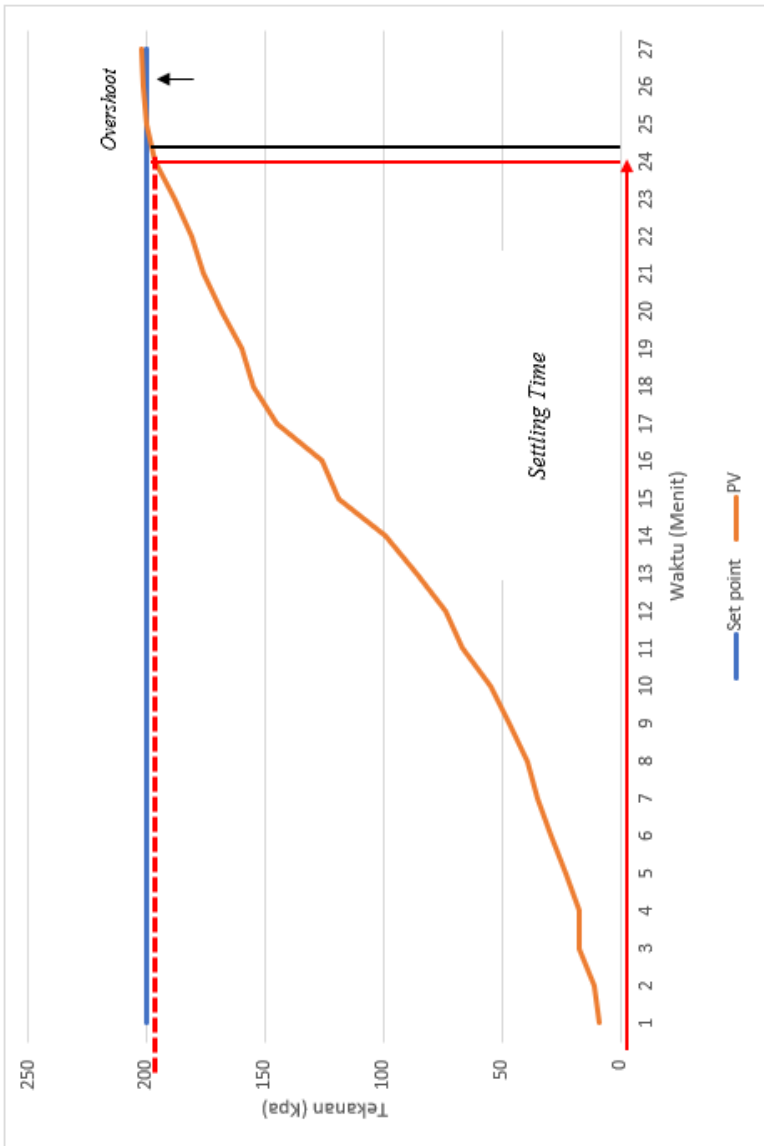
- Grafik respon sistem 100 Kpa :



- Grafik respon sistem 150 Kpa :



- Grafik respon sistem 200 Kpa :



Lampiran D :

Kalibrasi sensor *pressure* 100 Psi

Hasil Pengambilan Data Naik

Pembacaan standar	Pembacaan Alat					Rata-Rata
	Data Ke					
	1	2	3	4	5	
0	0	0	0	0	0	0
0,5	0,6	0,6	0,4	0,5	0,6	0,54
1	0,9	0,9	1	0,9	0,9	0,92
1,5	1,4	1,5	1,4	1,4	1,4	1,42
2	1,9	1,9	1,8	1,9	1,8	1,86
2,5	2,4	2,4	2,5	2,4	2,5	2,44
3	2,8	2,8	2,9	2,9	2,9	2,86
Jumlah						10,04
Rata-rata						1,43

Hasil Pengambilan Data Turun

Pembacaan standar	Pembacaan Alat					Rata-Rata
	Data Ke					
	1	2	3	4	5	
0	0	0	0	0	0	0
0,5	0,6	0,5	0,4	0,4	0,4	0,46
1	0,9	0,9	0,8	0,9	0,9	0,88
1,5	1,4	1,4	1,4	1,5	1,4	1,42
2	1,9	1,9	1,9	1,9	1,8	1,88
2,5	2,4	2,3	2,4	2,5	2,4	2,4
3	2,8	2,9	2,9	2,9	2,9	2,88
Jumlah						9,92

Rata-rata						1,41
-----------	--	--	--	--	--	------

Dari pengambilan data diatas maka didapatkan data kalibrasi sensor sehingga dapat diketahui nilai ketidakpastian dari sensor tersebut. Berikut ini merupakan data hasil dari kalibrasi sensor

Data Kalibrasi Sensor naik dan turun

Pembacaan standar(X)	Pembacaan Alat		Rata-Rata	Koreksi (Y)
	Rata-rata Naik	Rata-rata Turun		
0	0	0	0	0
0,5	0,54	0,46	0,5	0
1	0,92	0,88	0,9	0,1
1,5	1,42	1,42	1,42	0,08
2	1,86	1,88	1,87	0,13
2,5	2,44	2,4	2,42	0,08
3	2,86	2,88	2,87	0,13
Jumlah				0,52
Rata-rata				0,074

Berikut ini merupakan cara untuk mencari nilai ketidakpastian sensor.

a. Nilai Ketidakpastian Tipe A

$$\sigma = \frac{\sqrt{\sum(y-\bar{y})^2}}{n-1} \dots\dots\dots (4.1)$$

$$\sigma = 0,050668994$$

Sehingga didapatkan nilai U_{a1} sebagai berikut:

$$U_{a1} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \dots\dots\dots (4.2)$$

$$U_{a1} = \frac{0,050668994}{\sqrt{7}} = 0,017914195$$

Sedangkan nilai ketidakpastian regresi $U_{a2} = \sqrt{\frac{SSR}{n-2}}$

Dimana:

SSR (*Sum Square Residual*) = $\sum SR$ (*Square Residual*)

$SR = R^2$ (*Residu*)

Y = Nilai koreksi

$$Y_{reg} = a + (b \cdot x_i) \dots\dots\dots (4.3)$$

$$a = \bar{y}_l + (b \cdot \bar{x}) \dots\dots\dots (4.4)$$

$$b = \frac{n \cdot \sum xy - \sum x \sum y}{n \cdot \sum x^2 - (\sum x)^2} \dots\dots\dots (4.5)$$

$$SSR = \sum (y - Y_{reg})^2 \dots\dots\dots (4.6)$$

Dimana:

x = *Pemb. standar*,

y = *Nilai koreksi*, n = *Jumlah data*

b = 0,043205575

Sehingga nilai:

$$a = (0,52) + (0,043205575 \times 1,5)$$

$$a = 0,009477$$

Jadi, persamaan regresi menjadi:

$$Y_{reg} = (0,009477) + (x(-0,064808362))$$

Yang menghasilkan nilai **SSR** = 0,006069067

$$U_{a2} = \sqrt{\frac{SSR}{n-2}} = \sqrt{\frac{0,006069067}{7-2}} = 0,031804264$$

b. Nilai Ketidakpastian *Type B* :

Pada tipe ini terdapat 2 parameter ketidakpastian, yaitu ketidakpastian Resolusi (U_{b1}) dan Ketidakpastian alat standar *pressure gauge* (U_{b2}). Dengan perhitungan sebagai berikut:

$$U_{b1} = \frac{\frac{1}{2}x_{Resolusi}}{\sqrt{3}} = \frac{\frac{1}{2}x_{0,01}}{\sqrt{3}} = 0,002886751$$

$U_{b2} = \frac{a}{k}$, dikarenakan pada alat standar tidak ada sertifikat kalibrasinya maka nilai a (ketidakpastian sertifikat kalibrasi) dianggap mendekati 0, dan nilai faktor cakupan dianggap 2,0. Sehingga hasil : $U_{b2} = 0$

c. Nilai ketidakpastian kombinasi U_c :

$$U_c = \sqrt{U_{a1}^2 + U_{a2}^2 + U_{b1}^2 + U_{b2}^2} \dots\dots\dots (4.7)$$

$$U_c = 0,036616429$$

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Tuban pada tanggal 21 Maret 1997 dengan di beri nama Moch. Nurkho'im. Bapak bernama Tasmuri, Ibu bernama Sutarmi. Penulis telah menyelesaikan studi di SDN Tuwiri wetan 03 pada tahun 2009, SMP Negeri 1 Merakurak pada tahun 2012 , SMA Negeri 2 Tuban pada tahun 2015, dan kemudian melanjutkan kuliah di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Departemen Teknik Instrumentasi , Program Studi DIII Teknologi Instrumentasi , Fakultas Vokasi pada tahun 2015. Beberapa pengalaman organisasi yang pernah di ikuti menjadi Staff PSDM ukm robotika (2015) , Staff minat bakat Rumah rotan , Kepala bidang minba kabinet himatekins satu,.pengalam kerja praktek di PT. TPPI Tuban Refinery. Bagi pembaca yang memiliki kritik dan saran atau ingin berdiskusi lebih lanjut mengenai tugas akhir ini , dapat menghubungi melalui nomor telpon 081216141824 atau email khoimbor@gmail.com